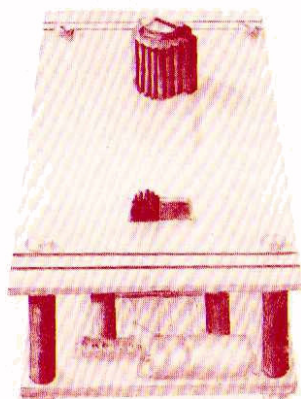


deel 1

# Wmodulen

ruisfilter  
basisbreedte  
tremolo  
lesley  
led vu meter  
50 watter  
voeding







# Emoduler

---

samenstelling: redactie elektronika hobbie

1e druk, februari 1979

ISBN 90-6344-003-0

De samenstellers van dit boekje hebben de grootste zorg besteed aan het ontwerp, de beschrijving en de publicatie van de bouwontwerpen.

Indien, ondanks een zorgvuldige nabouw en enige controle van eigen werkzaamheden de nagebouwde apparaatjes niet aan de praat te krijgen zijn, kan men telefonisch de hulp inroepen van de redactie van het tijdschrift elektronika hobbie. Maar: alleen op maandagmiddag tussen 13 en 17 uur op nummer: **043-622167**.

Korrespondentie over de schakeling alleen na voorafgaand telefonisch contact!

Uitgever aanvaard geen aansprakelijkheid voor materiele of persoonlijke schade, veroorzaakt door fouten in het ontwerp of de publicatie van schakelingen.



© 1979 — coöperatieve vereniging van zelfbesturende ontwerpers, uitgevers en technici u.a., maastricht. Niets uit deze uitgave mag worden gereproduceerd of vermenigvuldigd, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

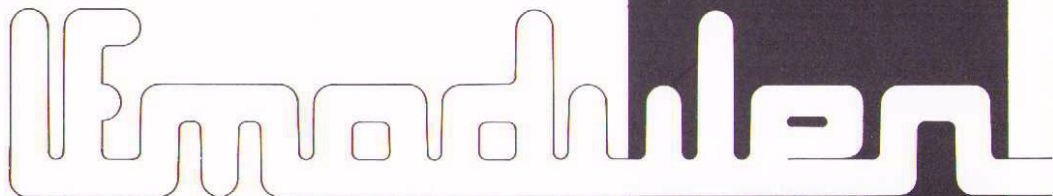
# inhoud

---

<b>Ruisfilter</b> .....	5
Een filter voor het onderdrukken van de ruis bij oude platen en verre stereo-zenders.	
<b>Basisbreedte</b> .....	23
Vult het „gat” op bij slechte opstelling van uw luidsprekers, ook ideaal voor hoofdtelefoons.	
<b>Tremolo</b> .....	43
Een zeer goede geluidsmodulator: frekwentie van 1,5 tot 35 Hz, modulatie tot 100 %!	
<b>Lesley</b> .....	65
Alleen te gebruiken in combinatie met tremolo!	
<b>LED VU-meter</b> .....	75
Een nauwkeurige controle van het geluidsnivo met deze met een lichtkolom werkende dB-meter.	
<b>50 Watter</b> .....	99
Een unieke uitvoering van een 50 watt eindversterker met een speciaal hibride.	
<b>Voeding</b> .....	123
De elektronische schakelingen uit dit boek eisen twee voedingen: +25 V en +/-30 V.	
<b>Praktijk</b> .....	135
Enige toelichting op het praktische gebruik van de in dit boek beschreven schakelingen.	



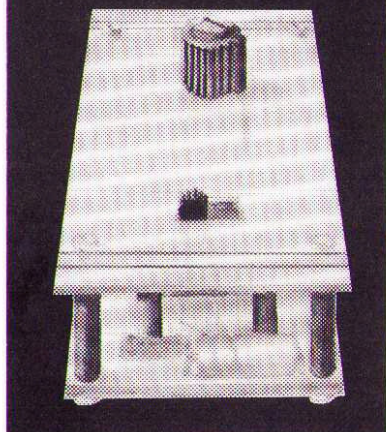
# ruisfilter



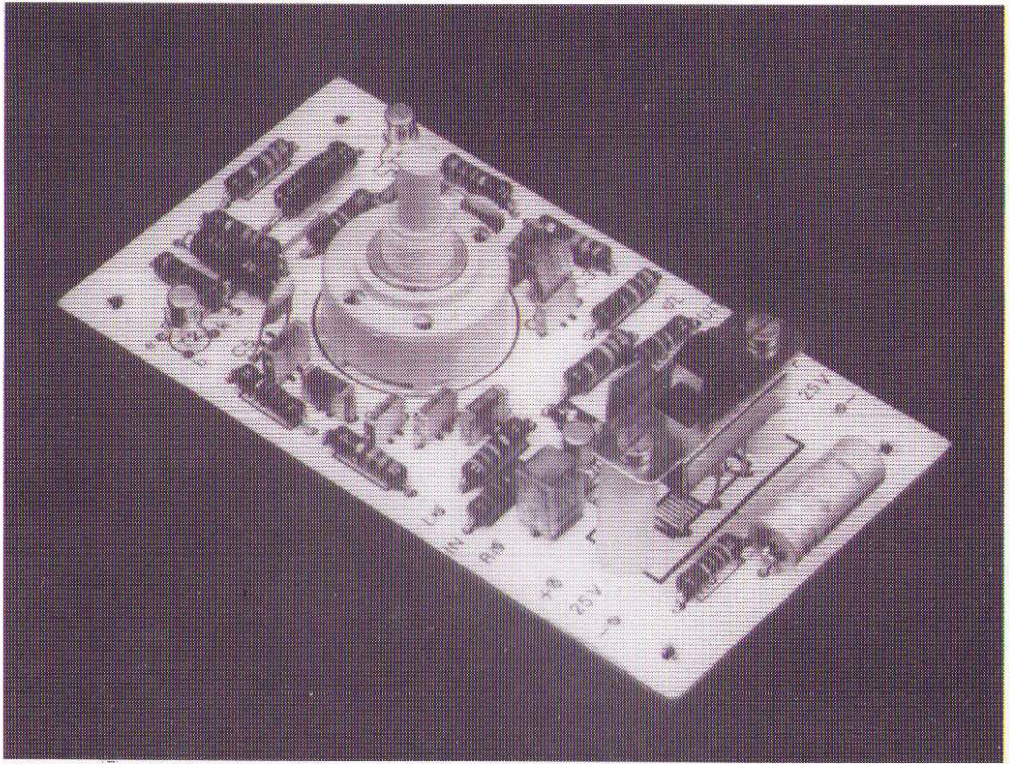
Hoewel natuurlijk niet volstrekt noodzakelijk, is een goed ruisfilter een nuttige aanvulling op een geluidsweergavesysteem. Met zo'n filter kan men het ruisen en spetteren van oude of veelgedraaide platen aanmerkelijk reduceren. Een ruisfilter bewijst ook goede diensten bij het ontvangen van verafgelegen stereo FM-zenders, zeker als gebruik wordt gemaakt van een niet zo beste tuner. Tenslotte willen ook zelfgemaakte bandopnames niet geheel vrij zijn van enig geruis. En daar lang niet iedereen is uitgerust met een meestal duur geesteskind van de Heer Dolby, kan een ruisfilter ook hier uitkomst bieden.

Het in dit hoofdstuk beschreven ruisfilter is veel beter dan de ruisfilters, die men in de meeste versterkers ingebouwd vindt.

Zo heeft de schakeling een omschakelaar, waarmee men de mate van ruisonderdrukking kan instellen. De drie zogenaamde kantelpunten liggen respectievelijk bij 5, 7 en 11 kilo-hertz. De steilheid van de onderdrukking van de hoge frekwenties is 12 decibell per oktaaf, zodat het nuttige geluidssignaal zo veel mogelijk gespaard wordt. Door middel van een ekstra schakelaar kan men het filter uitschakelen, waarbij in- en uitgang rechtstreeks worden doorverbonden. De versterking van de niet verzwakte signalen is gelijk aan een, zodat het inbouwen van het filter in een geluidsweergavesysteem geen nare gevolgen heeft voor de instelling van de volumeregelaar. Zoals de meeste modules in dit boek is ook het ruisfilter stereofonisch uitgevoerd.







## BEGRIPPEN

In de kretologie, waarmee dit hoofdstuk opent, zijn enige begrippen genoemd zoals kantelpunt, decibel, oktaaf, die misschien niet voor iedereen duidelijk zijn. In deze eerste paragraaf worden deze begrippen daarom nader toegelicht, want tenslotte heeft niemand er wat aan om schakelingen na te bouwen waarvan de werking niet ten volle begrepen wordt.

Geluid ontstaat doordat de lucht, door de stem of door muziekinstrumenten, in trilling wordt gebracht. De luchtmolekulen worden plaatselijk samengeperst en vervolgens ruimtelijk gespreid. Op deze manier plant het geluid zich voort door de atmosfeer. In een mikrofoon worden deze geluidstrillingen omgezet in gelijkwaardige elektrische trillingen. Het zijn deze trillingen die in de elektronische apparatuur versterkt en bewerkt worden, vooraleer ze door de luidsprekers weer worden omgezet in luchtbewegingen, die ons oor treffen.

Het aantal trillingen per seconde, dat de molekulen



in de lucht (of de elektronen in de schakeling) maken, is een maat voor de hoogte van de toon van het geluid. Deze toonhoogte of frekwentie wordt uitgedrukt in hertz. Een hertz komt overeen met een trilling per seconde.

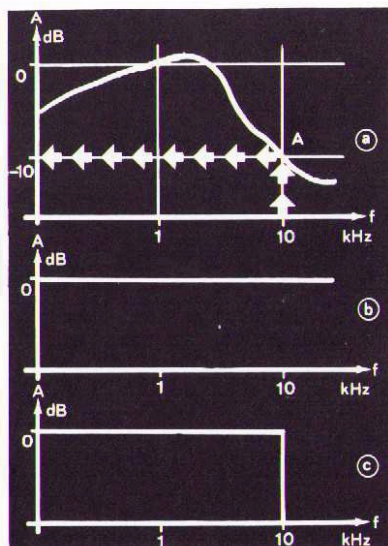
Globaal gesteld is het menselijk oor gevoelig voor geluiden van 20 tot 20.000 trillingen per seconde. Vandaar dat men zegt, dat een versterker frekwenties tussen 20 hertz en 20 kilo-hertz onverzwakt moet kunnen versterken. Alleen als aan deze voorwaarde is voldaan, zal muziek natuurgetrouw uit de luidsprekers klinken.

Nu gaat men er daarbij wel van uit, dat de elektronisch opgenomen muziek niet door allerlei nare bijgeluiden gekleurd wordt. In de praktijk is dit maar zelden zo. Een van de hardnekkigste bijgeluiden is de ruis.

Het tipische geluid, dat men ruis noemt, is opgebouwd uit een groot aantal trillingen met allemaal een verschillende frekwentie. Het is dus onmogelijk, ruis volledig te onderdrukken. Gelukkig is gebleken dat de ruis trillingen boven 10 kilo-hertz het hinderlijkst zijn. Als men dus ergens ruis wil kwijtraken, dan is het duidelijk wat er gedaan moet worden: de versterker mag dan niet alle signalen tussen 20 hertz en 20 kilo-hertz onverzwakt versterken, maar moet de signalen boven 10 kilo-hertz onderdrukken. Dit doet men door tussenschakelen van een ruisfilter.

Uiteraard hebben de technici, die graag alles heel precies willen weten, ook voor deze onderdrukking of verzwakking een eenheid bedacht. Dat is de decibel. Het niet verzwakken of versterken van een signaal komt overeen met een verzwakking van 0 dB (decibel). Enige andere voorbeelden: Als een signaal 10 maal verzwakt aan de uitgang van een versterker verschijnt, dan zegt men dat die versterker voor dat signaal een verzwakking heeft van 20 dB. Als van een signaal van 100 milli-volt aan de ingang van een versterker slechts 1 milli-volt aan de uitgang overblijft, dan komt deze verzwakking van 100 maal overeen met een verzwakking van 40 dB.

Gewapend met deze wetenschap, kunnen we de grafieken van figuur 1 gaan bekijken. Dit zijn zogenaamde weergavegrafieken. Zo'n weergavekarakteristiek is niets anders dan de punt na punt weergegeven verhouding tussen de frekwentie van een signaal dat aan de



Figuur 1. Dit zijn enige zogenaamde weergavekarakteristieken van versterkers. In zo'n karakteristiek wordt het verband tussen versterking en ingangsfrekwentie grafisch aangegeven.

ingang van een versterker wordt aangelegd en de verzwakking, die deze versterker voor dat signaal met een welbepaalde frekwentie in petto heeft. De signaalfrekwentie is weergegeven op de horizontale as, de verzwakking op de vertikale.

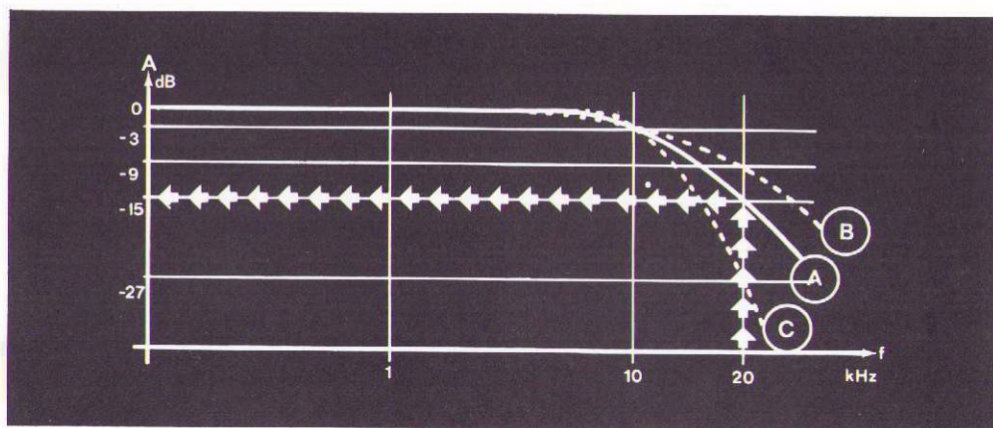
In figuur 1a is de weergavegrafiek van een zeer vreemde versterker getekend, dit ter illustratie. Als we bijvoorbeeld willen weten, wat de verzwakking van deze versterker is voor een signaal met een frekwentie van 10 kilo-hertz, dan trekken we uit het punt „10 kilo-hertz” op de horizontale as een vertikaal lijntje naar de kurve. We zijn dan in punt A aanbeland. Vanuit dit punt wordt dan een horizontaal lijntje getekend naar de vertikale verzwakkings-as. We belanden dan bij het punt „10 deci-bel”. Hieruit kunnen we dus besluiten, dat de beschouwde versterker signalen van 10 kilo-hertz 10 deci-bel zal verzwakken. Voor alle andere frekwenties kunnen we hetzelfde grapje toepassen.

De volgende stap in de redenering is het opstellen van de weergavegrafiek van een goede versterker, dus eentje die alle hoorbare frekwenties onverzwakt doorlaat. Deze weergavegrafiek is getekend in figuur 1b. De kurve ligt nu horizontaal op het nivo van 0 deci-bel, en dat is logisch want deze goede versterker discrimineert geen enkele frekwentie en dus is de verzwakking van alle frekwenties gelijk aan 0 deci-bel.

Nu kunnen we gaan naar waar we wezen moeten: de weergavekarakteristiek van een versterker met ruisfilter. Deze is getekend in figuur 1c. Tot 10 kilo-hertz zitten we op bekend terrein: de kurve loopt recht op 0 deci-bel-nivo. Boven de 10 kilo-hertz valt de kurve als een steen de bodemloze diepte in. De verzwakking wordt dus plotseling erg groot, en dat is nu net wat we willen, want in dat frekwentiegebied boven 10 kilo-hertz zitten immers die vervelende ruissignalen!

Tot slot van deze paragraaf willen we nog een puntje op de i zetten. In feite zegt zo'n weergavekarakteristiek op zich ontzettend weinig, als er niet een bepaalde referentie bekend is, waaraan men de verzwakking bij een willekeurige frekwentie afmeet. Dit kan verduidelijkt worden met een alledaags voorbeeld. Als men de hoogte van enige gebouwen wil vergelijken, dan zegt het niets als men beweert: „dit gebouw is hoger”. Men moet erbij vertellen ten opzichte van wat dat gebouw hoger is. Zo ook met de verzwakking van een versterker. De mededeling dat een bepaalde ver-





sterker frekwenties van 10 kilo-hertz 20 deci-bel verzwakt zegt niets, als men niet weet hoe die versterker zich gedraagt met andere frekwenties aan zijn ingang. Vandaar dat men internationaal (hoe is het mogelijk!) heeft afgesproken, dat men bij het opstellen van een weergavekarakteristiek er steeds van uitgaat, dat de versterker een frekwentie van 1 kilo-hertz niet verzwakt of versterkt, dus dat het punt van 1 kilo-hertz in de curve op 0 deci-bel ligt. In de grafiek van figuur 1a is dit weergegeven.

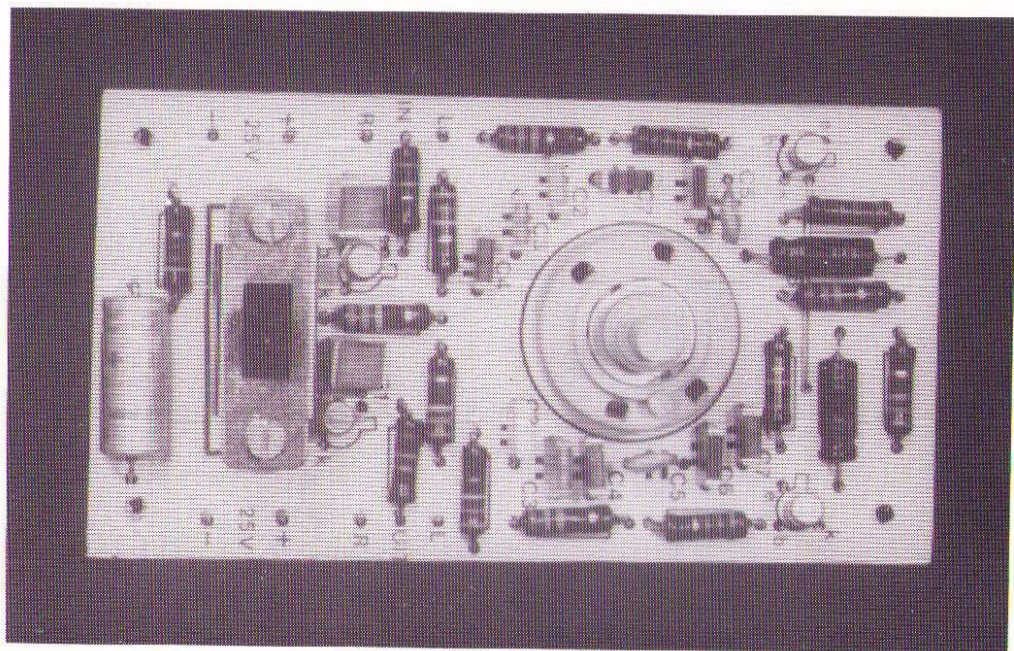
## DE PRAKTISCHE WEERGAVEKARAKTERISTIEK VAN EEN RUISFILTER

Uit de titel van deze paragraaf blijkt reeds, dat de mooie grafiek van figuur 1c in de praktijk niet realiseerbaar is. Inderdaad is het elektronisch onmogelijk de getekende hoek van 90 graden in de curve te realiseren.

Hoe de weergavekarakteristiek van een ruisfilter er in de praktijk uitziet, is getekend in figuur 2.

Eerst een opmerking. In deze grafiek wordt de decibel-schaal negatief weergegeven (van 0 dB tot -30 dB). Dat doet men, om duidelijk te maken dat het hier gaat om verzwakkingen en niet om versterkingen. Een verzwakking kan men in feite opvatten als een negatieve versterking. Omdat men, alweer internationaal, heeft afgesproken dat men in een weergavekarakteristiek de versterking uitzet in functie van de frekwentie, moeten verzwakkingen in zo'n grafiek dus weergegeven worden door negatieve deci-bel-waarden. Terzake: duidelijk blijkt, dat er weinig overblijft van

Figuur 2. De begrippen „kantelpunt“ en „steilheid“ worden gedefinieerd aan de hand van deze grafieken.



de scherpe knik in de grafiek. De curve maakt een vrij scherpe bocht. Nu willen de technici ook hier volledige duidelijkheid. Die krijgt men alleen, als men in cijfers kan uitdrukken waar die bocht in de curve precies begint en hoe scherp de bocht is. Vandaar dat men twee begrippen heeft ingevoerd, het kantelpunt en het aantal deci-bel per oktaaf, waarmee de vorm van de bocht volledig gedefinieerd kan worden.

Het kantelpunt geeft aan, bij welke frekwentie de bocht, en dus de verzwakking van het signaal, begint. In theorie moet men daarvoor natuurlijk het punt kiezen, waar de curve afwijkt van de „0 deci-bel-rechte”. Dit punt is echter moeilijk eksakt vast te leggen. Vandaar dat men het kantelpunt definieert als die frekwentie, waarbij de versterking is teruggevallen op  $-3$  deci-bel. Dit komt dus overeen met een verzwakking van 3 deci-bel. Uit de grafiek van figuur 2 volgt, dat het kantelpunt van de drie getekende grafieken 10 kilo-hertz is.

Dat „ $-3$  dB”-punt is overigens zeer beroemd in de elektronika. Ook de weergave van een gewone versterker wordt gedefinieerd door de frekwenties op te sporen, waarbij de versterking terugvalt op  $-3$  dB. Als men dus ooit in een kleurige folder van een ver-



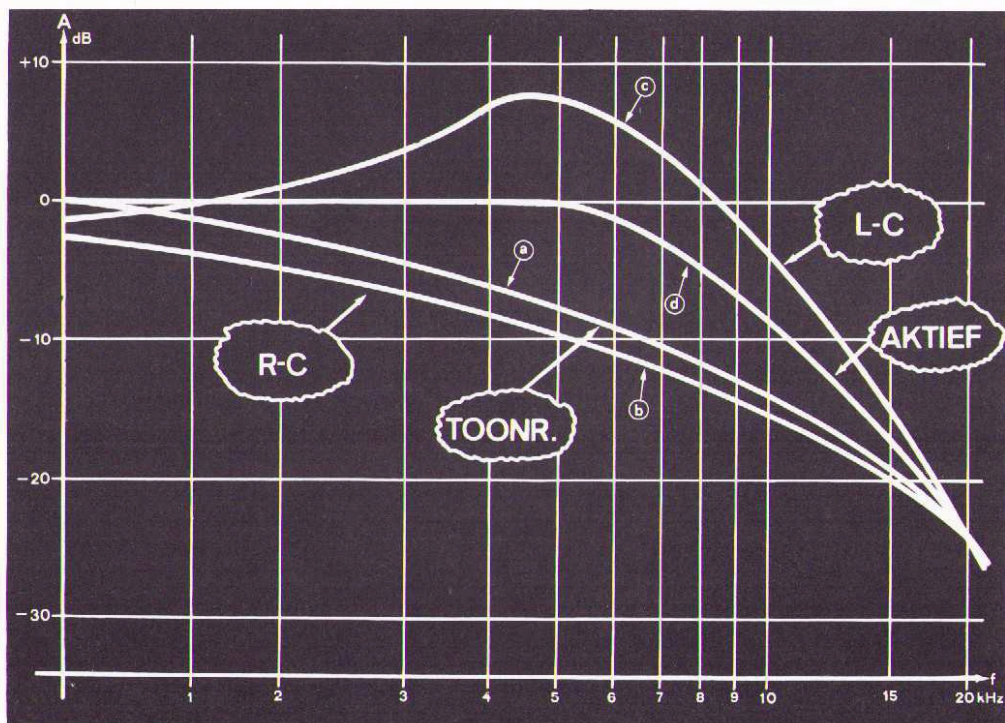
sterker leest dat de versterker recht is tussen 15 hertz en 32 kilo-hertz, dan wil dat zeggen dat respectievelijk onder en boven die frekwenties de verzwakking van de versterker groter dan 3 deci-bel zal zijn.

Terug naar de ruisfilter-karakteristiek. We moeten nu nog de scherpste van de bocht, of wetenschappelijker uitgedrukt, de helling of steilheid van de grafiek in cijfers vastleggen. Daarvoor doet men een beroep op een begrip uit de muziektheorie: het oktaaf. Een oktaaf is de omvang van 8 tonen. Vrij vertaald in elektronische termen is een oktaaf de frekwentie-afstand tussen een referentie-frekwentie en de frekwentie die gelijk is aan het dubbele van die referentie. Konkreet: de frekwentie-afstand tussen 10 kilo-hertz en 20 kilo-hertz is dus een oktaaf. De helling of steilheid van de grafiek van een ruisfilter wordt nu uitgedrukt, door de verzwakking te meten die optreedt in het oktaaf, volgend op de kantelpunt-frekwentie.

Dit wordt verduidelijkt aan de hand van het voorbeeld van figuur 2. Neem de kurve a. Het kantelpunt, dat hebben we reeds vastgesteld, ligt op 10 kilo-hertz: de versterking is daar  $-3$  deci-bel. We bepalen vervolgens de versterking bij 20 kilo-hertz (een oktaaf hoger). We vinden een versterking van  $-15$  deci-bel. We kunnen dus besluiten, dat de verzwakking van het ruisfilter over een oktaaf gelijk is aan  $15 - 3 = 12$  deci-bel. De kurve a is nu volledig gedefinieerd: het kantelpunt ligt op 10 kilo-hertz en de steilheid is 12 deci-bel per oktaaf.

Het zal duidelijk zijn dat, hoe meer deci-bel per oktaaf een ruisfilter verzwakt, hoe groter de helling of steilheid is, en hoe meer de kurve gaat lijken op het theoretische en ideale geval van figuur 1c.

In de grafiek van figuur 2 zijn nog twee andere mogelijke weergave-karakteristieken van ruisfilters getekend: kurve b en kurve c. Beide hebben ze met kurve a gemeen, dat het kantelpunt bij 10 kilo-hertz ligt. De steilheid van kurve b is echter slechts 6 deci-bel per oktaaf, die van kurve c niet minder dan 24 deci-bel per oktaaf. Kurve c vertegenwoordigt dus een erg goed ruisfilter. Een ruisfilter met een weergave-karakteristiek als kurve b is zo goed als waardeloos. Toch zal uit de volgende paragraaf volgen, dat we heel erg blij mogen zijn, als we elektronisch een ruisfilter kunnen ontwerpen, dat een karakteristiek heeft als getekend in figuur 2a.



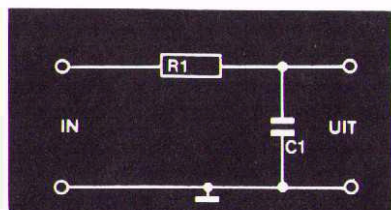
Figuur 3. In deze figuur worden de weergavekarakteristieken van vier mogelijke ruisfilters met elkaar vergeleken. Om deze vergelijking zinvol te maken, verzwakken alle filters signalen van 20 kilohertz met 23 decibel.

### RUISONDERDRUKKING

In deze paragraaf gaan we enige mogelijke ruisonderdrukkings-systemen bespreken. Van ieder systeem wordt de weergavekarakteristiek getekend in figuur 3. Aan de hand van deze figuur kan dan gekozen worden, welk systeem uitgewerkt kan worden tot een praktisch ruisfilter.

De eerste manier, waarmee ruis te verzwakken is, is uiteraard gebruik maken van de in iedere versterker ingebouwde toonregeling. Wat blijkt echter? In figuur 3 is deze methode voorgesteld door de curve a. Weliswaar krijgt men dan een flinke verzwakking van de ruissignalen boven 10 kilo-hertz, maar duidelijk blijkt dat de verzwakking aanvangt bij een frekwentie van 1 kilo-hertz. Deze methode is dus knap waarde-loos. Behalve de ongewenste ruissignalen wordt ook een flink gedeelte van het geluidssignaal verzwakt.

Een ruisfilter is in principe niets anders dan een laagdoorlaatfilter. Zo'n laagdoorlaatfilter is opgebouwd uit de serieschakeling van een weerstand en een condensator, zoals getekend in figuur 4. De verzwakking

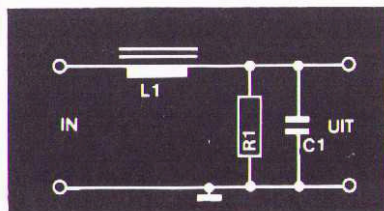


Figuur 4. Het eenvoudigste ruisfilter is dit passieve laagdoorlaatfilter. De resultaten zijn evenredig aan de eenvoud van de schakeling!

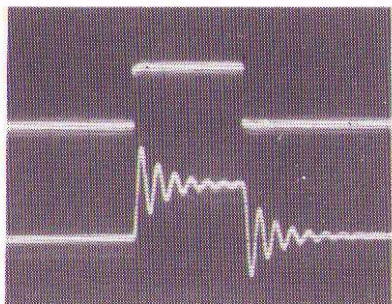


van de hoge frekwenties, die door dit filter veroorzaakt wordt, ontstaat door het feit dat een kondensator een wisselstroomweerstand (impedantie) heeft, die afhankelijk is van de signaalfrekwentie. Hoe hoger deze frekwentie, hoe lager de impedantie van de kondensator. Er wordt dus als het ware een frekwentieafhankelijke potmeter gevormd. Voor lage frekwenties is de impedantie van de kondensator zeer groot en verschijnt de volledige ingangsspanning over de uitgang. Als de frekwentie stijgt, dan neemt de impedantie van de kondensator af en valt een gedeelte van de ingangsspanning over de weerstand R1. Voor zeer hoge frekwenties vormt de kondensator als het ware een kortsluiting en de volledige ingangsspanning valt over de weerstand. Door een geschikte keuze van de componenten kan men het filter zo uitvoeren, dat men bij 20 kilo-hertz een verzwakking krijgt van 23 deci-bel, zodat het filter vergelijkbaar wordt met een toonregeling met dichtgedraaide hoogregeling. De weergavekarakteristiek van zo'n R-C-filter is weergegeven door de kurve b. Duidelijk is, dat men nog verder van huis is: de steilheid van de kurve is nog kleiner dan die van de toonregeling. Ook dit filter is dus niet bruikbaar als kwalitatief goed ruisfilter.

Een volgende mogelijkheid is getekend in figuur 5. Dit filter heeft een ekwivalente opbouw als het filter van figuur 4, alleen is de weerstand nu vervangen door een spoel. Een spoel heeft als voornaamste eigenschap, dat de wisselstroomweerstand of impedantie ook afhankelijk is van de frekwentie, alleen is dat verband bij een spoel lineair: als de frekwentie stijgt, dan zal ook de impedantie van een spoel stijgen. Intuitief is reeds duidelijk, dat de steilheid van de verzwakking van dit filter groter zal zijn dan van de beide vorige schakelingen. Immers, bij dit filter zijn er twee impedanties, die afhankelijk zijn van de frekwentie. Voor lage frekwenties is de impedantie van de spoel klein en de impedantie van de kondensator groot. Men kan ingang en uitgang kortgesloten veronderstellen. Als de frekwentie stijgt, dan neemt de impedantie van de spoel toe en de impedantie van de kondensator af. Gevolg is, dat slechts een klein deel van de ingangsspanning aan de uitgang zal verschijnen. Door een geschikte keuze van de onderdelen zal de verzwakking bij 20 kilo-hertz eksakt 23 deci-bel bedragen. Men kan dan de weergavekarakteristiek vergelijken met die



Figuur 5. De combinatie van een spoel en een kondensator geeft weliswaar een grotere steilheid, maar ook een vreemde bult in de weergavekarakteristiek.



Figuur 6. De invloed van een spoel in een schakeling uit zich door vreemdsoortige, ongewenste trillingen op het uitgangssignaal van het filter: zogenaamde over- en undershoots.

van de beide vorige filters. In figuur 3 is de weergavekarakteristiek van het onderzochte L-C-filter weergegeven door curve c. Dadelijk valt de zeer grote steilheid op: 14 deci-bel per oktaaf! Even opvallend is een forse bult rond 5 kilo-hertz. Rond deze frekwentie gaat dit filter dus niet als verzwakker werken, maar als versterker. Dit heeft iets te maken met het feit dat iedere schakeling van een spoel en een condensator een zogenaamde trillingskring vormt. Bij een bepaalde frekwentie gaat die kring meetrillen met de sinussen van de ingangsspanning en ontstaan dergelijke pieken. Vandaar dan ook de weerstand R1, parallel geschakeld aan de condensator. Deze dempt deze trillingen van het filter enigszins.

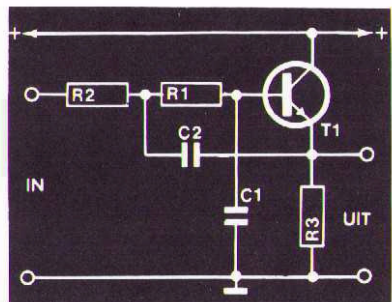
Besluitend kan men stellen, dat ook dit filter niet bruikbaar is als ruisfilter. De steilheid is wel goed, maar de bult in de curve is volledig onaanvaardbaar.

Als men nu een combinatie zou maken van zorgvuldig op elkaar afgestemde filters volgens figuur 4 en figuur 5, dan zou men deze bult kunnen elimineren, en een zeer goed ruisfilter vormen.

Een spoel heeft echter nog een andere kwalijke eigenschap. Als over een spoel een plotse spanningsverandering wordt aangebracht, dan zal de spoel ervoor zorgen, dat aan de uitgang allerlei ongewenste trillingen ontstaan. In figuur 6, een oscilloscoop-foto, is dit duidelijk te zien. Nu komen dergelijke plotse spanningsveranderingen, pulsen genoemd, vaak voor in het geluidssignaal. De door de spoel geïntroduceerde trillingen zijn dodelijk voor de kwaliteit van de geluidsweergave. Weg met de spoel, dus.

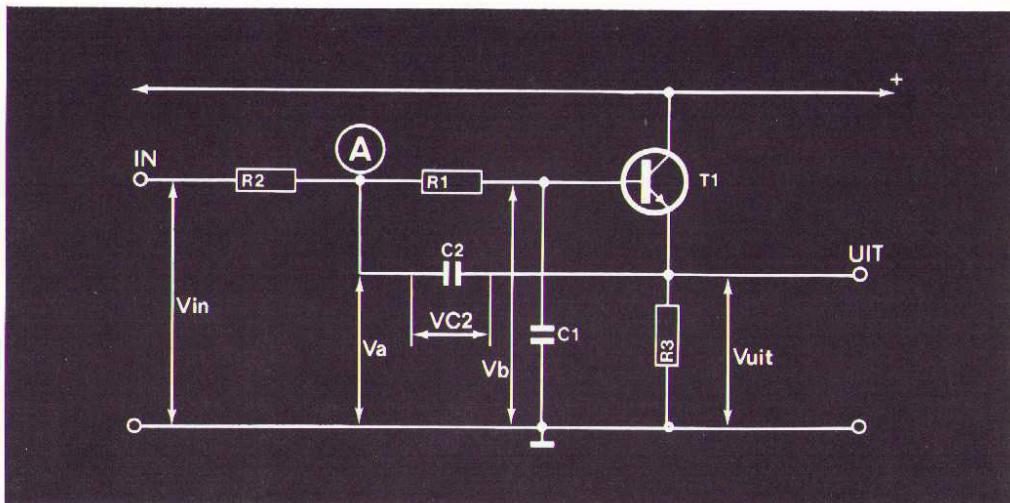
Tot slot is in figuur 7 een zogenaamd actief laagdoorlaatfilter getekend. Een actief filter kenmerkt zich door het gebruik van een transistor. Deze is hier als emittervolger geschakeld. In de basiskring zijn twee R-C-netwerken opgenomen, waarvan een (R1-C1) gelijk is aan het reeds besproken R-C-filter. Het tweede netwerk, R2-C2, voert een tegenkoppeling in tussen basis en emitter.

De weergavekarakteristiek van dit filter is getekend in de curve d van figuur 3. De steilheid bedraagt 12 deci-bel per oktaaf en er verschijnen geen vreemdsoortige bulten in de weergavekarakteristiek. Hieruit volgt, dat dit filter een eenvoudig maar effectief ruisfilter is, reden waarom het dan ook wordt gebruikt in de praktische schakeling en waarom er in de volgende para-



Figuur 7. Het actieve ruisfilter of laagdoorlaatfilter geeft de beste resultaten.





graaf dieper op de werking wordt ingegaan.

### HET AKTIEF LAAGDOORLAATFILTER

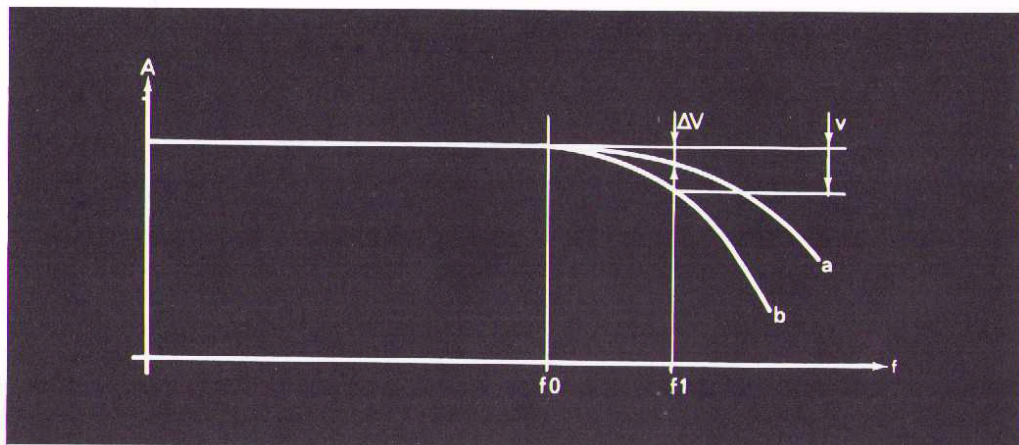
In figuur 8 is het actieve laagdoorlaatfilter nogmaals getekend, maar nu wat ruimer zodat er hier en daar wat spanningen bij getekend kunnen worden.

Allereerst is het noodzakelijk enige karakertrekken van de emittervolger te memoreren. De spanningsversterking van zo'n schakeling is gelijk aan 1. Dat wil zeggen dat de spanning op de emitter (Vuit) gelijk is in grootte aan de spanning op de basis (Vb). Vervolgens heeft een emittervolger een zeer hoge ingangsweerstand. Dat wil zeggen dat de stroom, die in de basis vloeit, zeer klein is. Deze stroom is zo klein, dat de spanningsval die als gevolg van het vloeien van die stroom ontstaat over de weerstanden R1 en R2 te verwaarlozen is. De spanning aan de ingang van de schakeling ( $V_{in}$ ) en de spanning op het knooppunt van beide weerstanden ( $V_a$ ) zal dus gelijk zijn aan de basisspanning  $V_b$ .

Voor het doorgronden van de werking van de schakeling gaan we op de ingang in gedachten een wisselspanning aansluiten, waarvan de grootte (amplitudo) gelijk blijft, maar waarvan de frekwentie verandert. Bovendien moeten we in gedachten houden, dat de onderdelen R1 en C1 een passief laagdoorlaatfilter vormen, waarvan de vorm van de weergavekarakteristiek getekend is in de kurve a van figuur 9.

Stel, dat de frekwentie van het ingangssignaal zo klein

Figuur 8. Nogmaals het actieve laagdoorlaatfilter. Met behulp van het spanningsverloop op de verschillende punten wordt de werking van de schakeling verduidelijkt.



Figuur 9. De weergavekarakteristiek van een zelfstandig opererend passief laagdoorlaatfilter (kurve a) en van een passief filter, opgenomen in een actieve schakeling (kurve b).

is, dat het hogergenoemde passieve filter nog geen verzwakking tot gevolg heeft. De basisspanning  $V_b$  en dus ook de emitterspanning  $V_{uit}$  zijn dan gelijk aan de ingangsspanning. Het actieve filter verzwakt niet, de versterking is gelijk aan 0 deci-bel.

Stel vervolgens, dat de frekwentie van het ingangssignaal gelijk wordt aan een bepaalde waarde  $f_1$  (zie figuur 9). Bij deze verzwakking zal het passieve filter  $R_1-C_1$  een kleine verzwakking veroorzaken. Stel bovendien, dat dit signaal zich heel langzaam door de schakeling voortbeweegt, zodat we de signaalloop van onderdeel naar onderdeel door de schakeling kunnen volgen. Dit laatste is natuurlijk zuiver imaginair: de verschijnselen die in hetgeen volgt achter elkaar worden beschreven, vinden in de realiteit op hetzelfde ogenblik plaats.

Hier gaan we dan!

Het signaal met de bepaalde frekwentie  $f_1$  verschijnt aan de ingang, met een bepaalde grootte  $V_{in}$ . Even later heeft dit signaal de weerstand  $R_2$  doorlopen en komt aan op punt A. Uiteraard is het signaal nog niet verzwakt, zodat  $V_a = V_{in}$ . Weer even later verschijnt het signaal op de basis van de transistor.

De invloed van het passieve filter  $R_1-C_1$  heeft zich ondertussen doen gelden, zodat het signaal  $V_b$  op de basis enigszins kleiner is dan het signaal op de ingang. Deze kleine signaalverzwakking is in de grafiek van figuur 9 voorgesteld door  $\Delta V$ . (Het symbool  $\Delta$  wordt in de elektronika steeds gebruikt om zeer kleine spanningsdalingen of -toenamen voor te stellen; het wordt uitgesproken als „delta“.)



Door de werking van de emittervolger zal ook de emitterspanning Vuit verzwakt zijn met dit kleine bedrag. Het gevolg is dus, dat de uitgangsspanning gelijk is aan  $V_{in}$  minus  $\Delta V$ .

Over de condensator C2 ontstaat nu een kleine spanning, VC2. Immers, de linker plaat van de condensator is aangesloten op punt A en staat bijgevolg op de spanning  $V_a = V_{in}$ . De rechter plaat staat in verbinding met de emitter en voert de spanning Vuit =  $V_{in}$  minus  $\Delta V$ . De spanning VC2 is dus gelijk aan  $\Delta V$ .

Het gevolg is, dat er door de condensator een stroom gaat lopen. Deze stroom vloeit eveneens door de weerstand R2, met als gevolg dat er over deze weerstand een spanningsval ontstaat. De spanning op punt A wordt nu kleiner dan de ingangsspanning  $V_{in}$ . Deze verkleinde spanning komt via het passief filter R1-C1 op de basis van de transistor terecht, maar natuurlijk weer verzwakt.

Gevolg is, dat de uitgangsspanning van de schakeling Vuit meer dan een bedrag  $\Delta V$  kleiner zal zijn.

Dit is in de grafiek van figuur 9 voorgesteld met v (kurve b).

Dit is de vrij gekompliceerde werking van het actieve laagdoorlaatfilter. Kan deze werking in enige zinnen samengevat worden? Laat ons een poging wagen.

De grafiek a van figuur 9 ontstaat, door aan het passieve laagdoorlaatfilter R1-C1 een signaal met variërende frekwentie, maar konstante grootte aan te leggen. Door de terugkoppeling bij het actieve filter zal dit passieve filter niet met een signaal met konstante grootte gevoed worden, maar zal de spanning op punt A (het ingangssignaal voor het passieve filter) afnemen als de frekwentie van het ingangssignaal stijgt. Dit effect ontstaat door de terugkoppeling van de uitgangsspanning naar punt A via de condensator C2 en de spanningsval over weerstand R2 die daarvan het gevolg is.

Als de ingangsspanning van het passieve filter afneemt bij stijgende frekwentie, dan is het duidelijk dat ook de steilheid van de verzwakking van dat filter zal toenemen. Vandaar dat de totale schakeling van figuur 8 een steilheid heeft van 12 deci-bel per oktaaf.

## DE PRAKTISCHE SCHAKELING

In figuur 10 is de praktische schakeling van het ruis-

## ONDERDELENLIJST

### WEERSTANDEN:

- R 1 = 270 k-ohm, 1/4 watt
- R 2 = 680 k-ohm, 1/4 watt
- R 3 = 10 k-ohm, 1/4 watt
- R 4 = 18 k-ohm, 1/4 watt
- R 5 = 8,2 k-ohm, 1/4 watt
- R 6 = 10 k-ohm, 1/4 watt
- R 7 = 27 k-ohm, 1/4 watt
- R 8 = 8,2 k-ohm, 1/4 watt

### KONDENSATOREN:

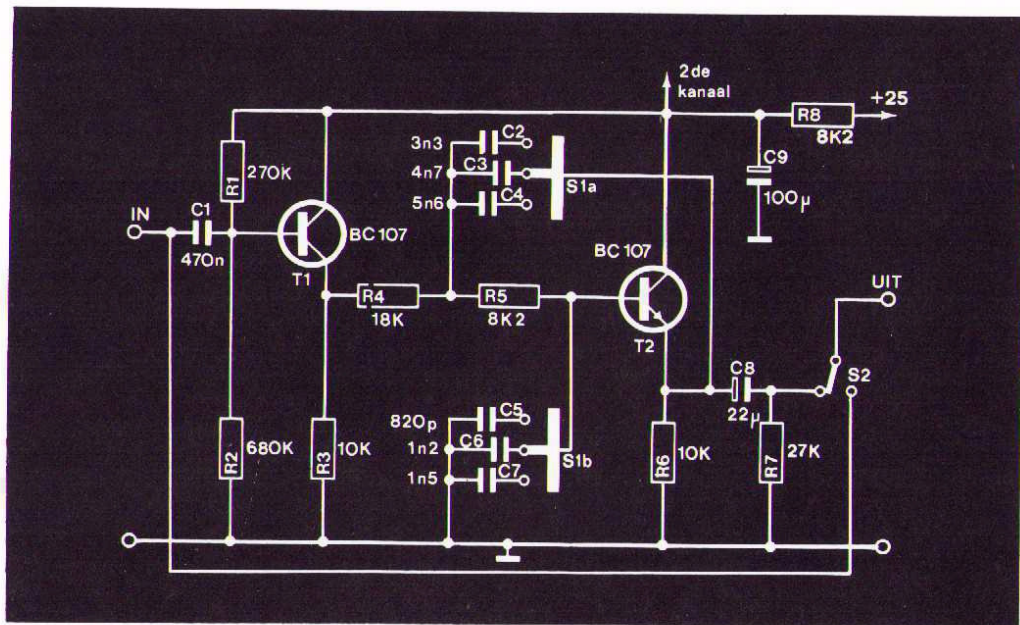
- C 1 = 470 nF, MKM
- C 2 = 3,3 nF, MKM
- C 3 = 4,7 nF, MKM
- C 4 = 5,6 nF, MKM
- C 5 = 820 pF, keramisch
- C 6 = 1,2 nF, MKM
- C 7 = 1,5 nF, MKM
- C 8 = 22  $\mu$ F, 16 V liggend
- C 9 = 100  $\mu$ F, 25 V liggend

### HALFGELEIDERS:

- T 1 = BC 107
- T 2 = BC 107

### DIVERSEN:

- S 1 = 4 x 3 standen, LORLIN
- S 2 = dubbelpolige omschakelaar, groot schuifmodel
- 1 x print RF-a
- 1 x frontje FP-RF-a
- 8 x printsolderlipjes
- 6 x 20 mm afstandsbusen
- 6 x M 3 x 30 schroeven
- 10 x M 3 moertjes



Figuur 10. Het volledige schema van een kanaal van het praktische ruisfilter.

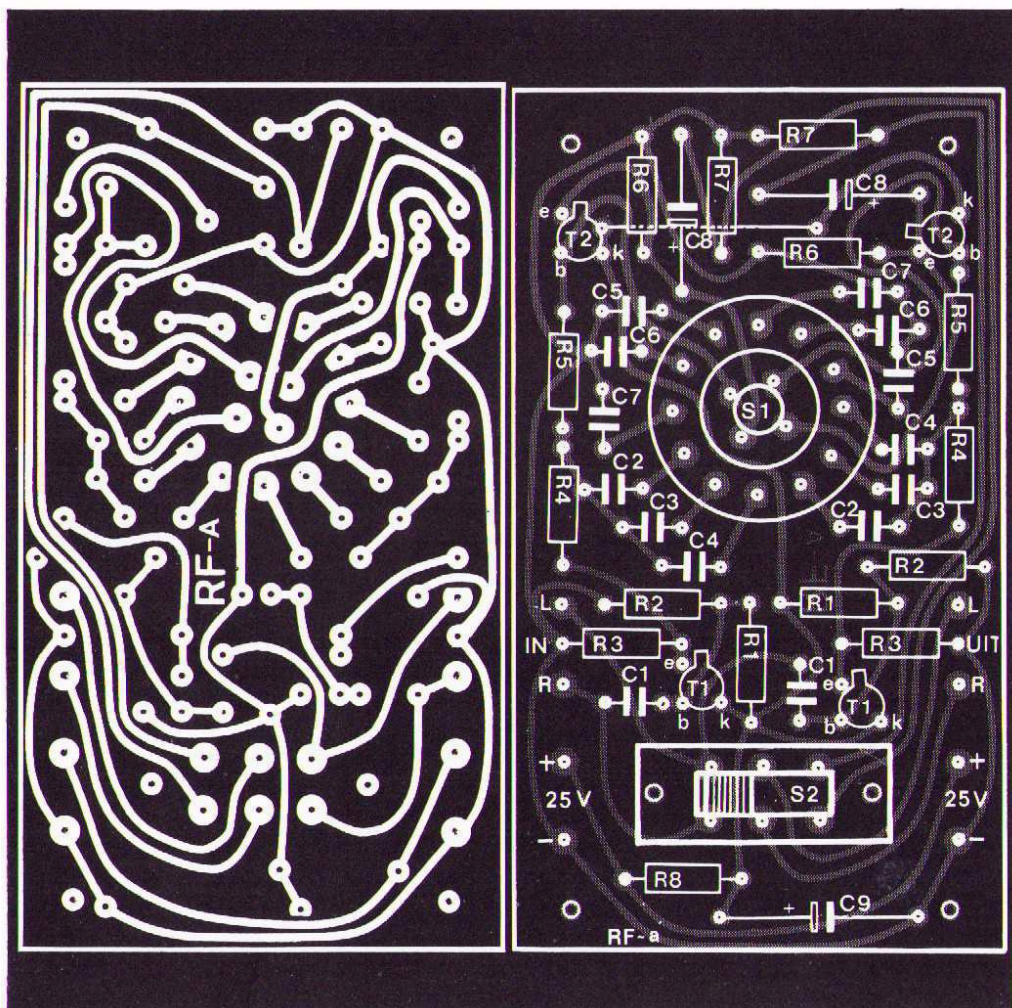
filter getekend. De zojuist besproken actieve filter-schakeling herkent men meteen rond transistor T2. De eerste trap zorgt voor de gelijkspanningsinstelling van de schakeling en voor een lage ingangsimpedantie voor het filter. Het actieve filter moet namelijk gestuurd worden uit een lage en konstante impedantie, anders zal het kantelpunt en de steilheid beïnvloed worden door de schakeling, waarop het filter is aangesloten.

Vandaar dat de eerste transistor geschakeld is als emittervolger. De gelijkspanningsinstelling van het filter wordt verzorgd door de weerstanden R1 en R2. Door deze spanningsdeler wordt de eerste transistor zo ingesteld, dat de spanning op de emitter gelijk is aan ongeveer de halve voedingsspanning. De tweede transistor haalt zijn instelspanning via de weerstanden R4 en R5 uit die halve voedingsspanning op de emitter van T1.

De ingangsspanning wordt aangeboden aan de basis van de eerste transistor via de scheidingskondensator C1. Deze kondensator scheidt signaalspanning en instelspanning.

Zoals gezegd in de ondertitel heeft het filter drie instelbare kantelpunten. Deze verschillende kantelpunten worden verkregen door de waarde van de konden-





satoren in het actieve filter te veranderen. Dit gebeurt door middel van de schakelaars S1a en S1b.

De uitgangsspanning van het filter wordt door middel van een R-C-filter afgenomen van de emitter van de tweede transistor.

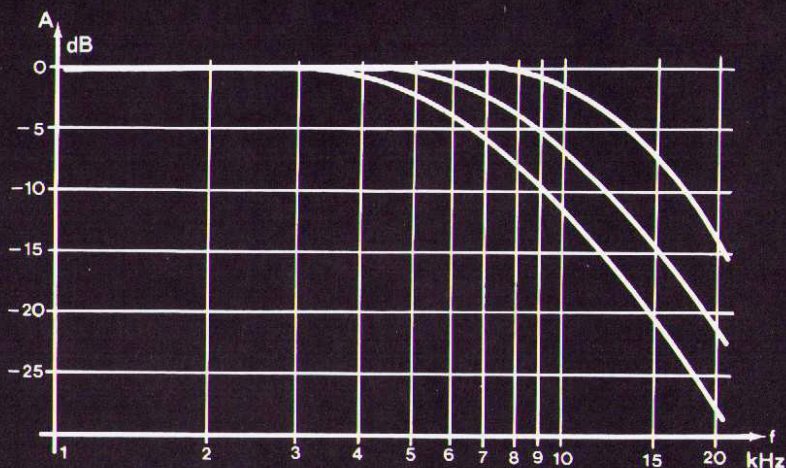
Door middel van de schakelaar S2 kan men het filter in- en uitschakelen.

Uiteraard is het tweede kanaal volledig identiek van opbouw.

De voeding voor beide filters wordt door middel van een extra afvlakfiltertje R8-C9 afgeleid uit de + 25 volt voedingslijn van alle modules.

Figuur 11. Het printje RF-a is groter dan de meeste ruisfilterprints, maar bij dit hoeft er niets bedraad te worden, daar de schakelaars op de print zitten.

Figuur 12. De bestukking van de ruisfilterprint.



Figuur 13. De weergavekarakteristieken van de drie verschillende standen van het ruisfilter.

## DE BOUW

De print RF-a is getekend in figuur 11, de bestukking daarvan in figuur 12.

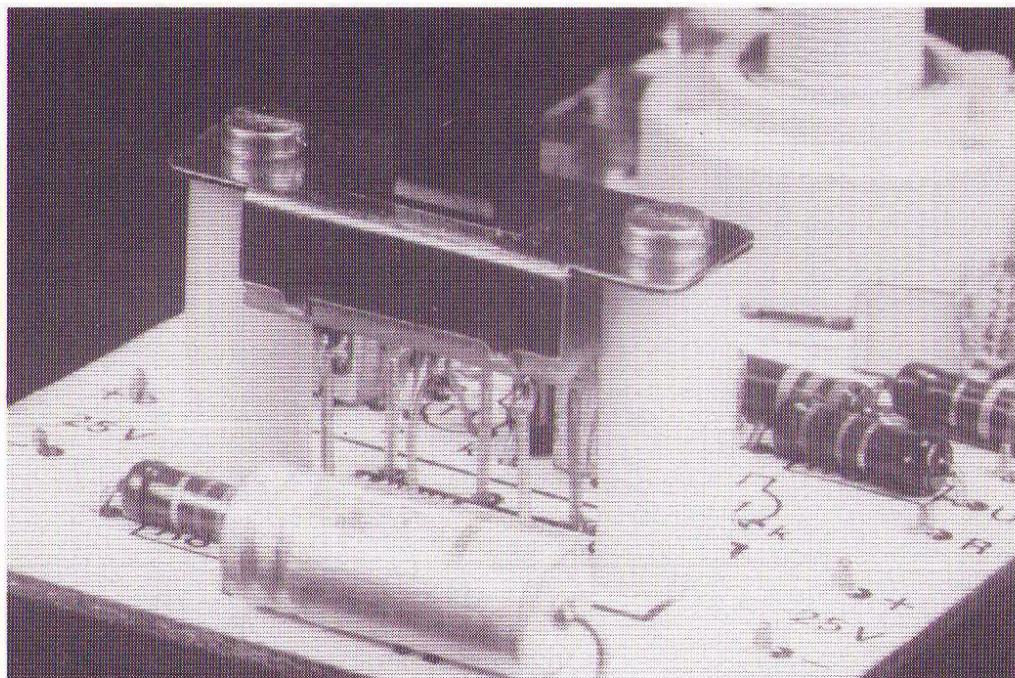
De montage begint met het solderen van acht soldeerlipjes in de aansluitingen van de in- en uitgangen en voeding en massa. De plaats van deze aansluitingen is zo gekozen, dat bij combinatie met andere modules enkel vier korte draadjes nodig zijn voor het doorverbinden van de modules. Deze lipjes moeten op de koperzijde van de print gesoldeerd worden.

Nadien wordt met een stukje massieve, ongeïsoleerde draad de draadbrug op de print gesoldeerd.

Vervolgens kunnen alle onderdelen op de print gesoldeerd worden.

Tot slot komen de schakelaars aan de beurt. De schakelaar S1 is een miniatuur 4 x 3 standen-eksemplaar. Gebruik hiervoor een C&K-schakelaar van het type Lorlin. De printuitvoering van dit type past zonder meer rechtstreeks in de print. Het model met soldeeroogjes vereist enige voorbereiding: met een tangetje knipt men de oogjes af en wel zo, dat het overblijvende stompje puntvormig eindigt. Nadien kan men de schakelaar rechtstreeks in de print solderen. Gebruik





geen goedkope Japanse schakelaars! Gebleken is, dat die een andere aansluitcode hebben, waardoor de schakeling niet goed werkt.

De in-uit-schakelaar kan ook op de print bevestigd worden. Daar deze schakelaar minder hoog is dan de driestanden-schakelaar, moet hij via afstandsbusjes van 20 mm op de print geschroefd worden. Eerst soldeert men echter zes korte draadjes aan de aansluitlipjes van de omschakelaar. Bij de montage van het onderdeel op de print duwt men deze draadjes door de gaten van de print. Nadien kan men de elektrische kontakten tot stand brengen door de draadeinden op de print vast te solderen.

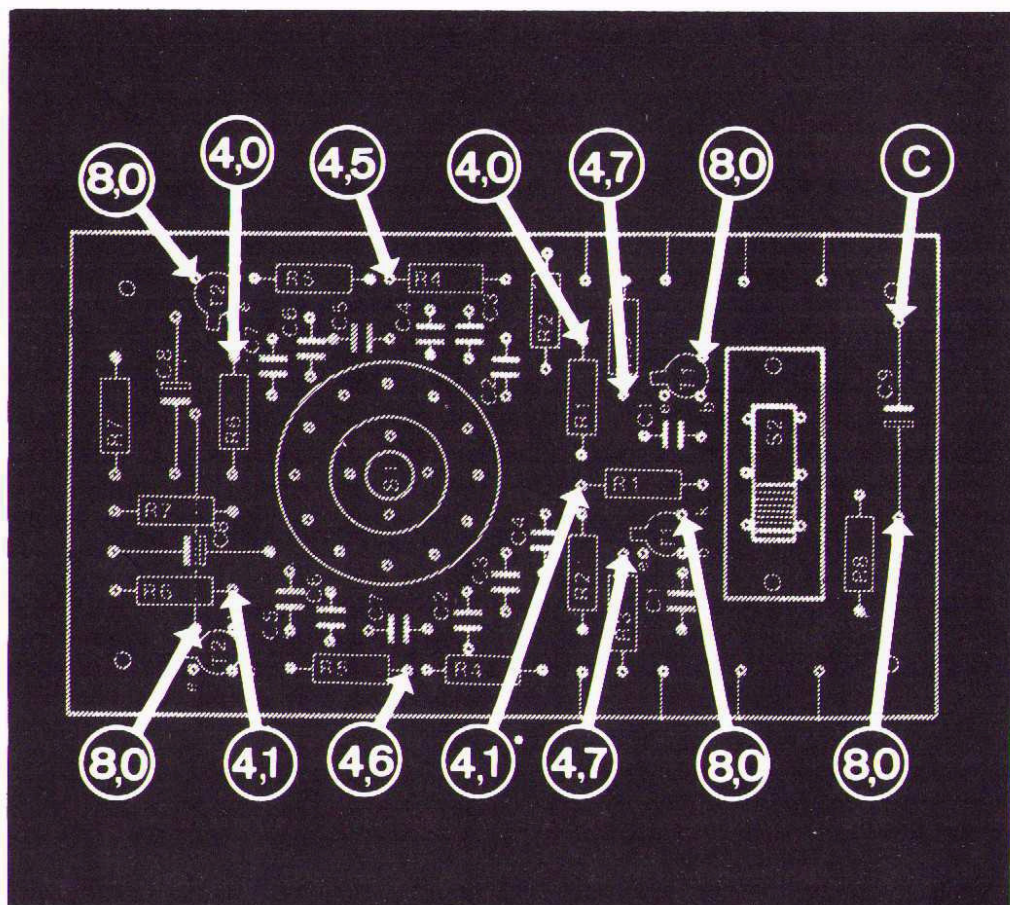
De print is nu bedrijfsklaar en kan samengebouwd worden met het door de uitgever leverbare frontje FP-RF-a.

De afstand tussen front en print moet 22 millimeter zijn. Deze waarde kan worden samengesteld door een combinatie van een 20 mm afstandsbusje en een M3-moertje tussen print en front op te nemen.

## EPILOOG

De weergavekarakteristieken van de drie filterstanden



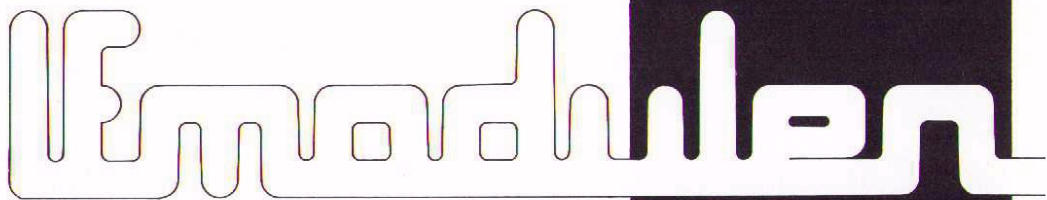


Figuur 14. De spanningsplattegrond van de print is een ideale hulp bij het opsporen van een eventuele fout in de print.

zijn getekend in figuur 13. De hoogste kantelfrekquentie van 11 kilo-hertz is bedoeld voor het onderdrukken van zachte ruis, de twee overige standen kunnen ingeschakeld worden als men geteisterd wordt door erg veel ruis.

De spanningsplattegrond van de print is getekend in figuur 14. Alle ingetekende spanningen zijn gemeten met een universeelmeter met een gevoeligheid van 20 kilo-ohm per volt. De spanningen, aangeduid met een sterretje, ontstaan over relatief hoogohmige punten. De spanning die daar gemeten wordt, wordt bijgevolg beïnvloed door de inwendige weerstand van het meet-instrument. Meet men de spanningen met een betere, en dus hoogohmige meter, dan zullen de gemeten spanningen hoger liggen.

# basisbreedte



Als tweede laagfrequent moduul wordt een basisbreedte behandeld.

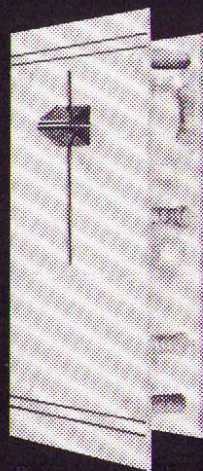
Met zo'n schakeling kan men twee dingen doen.

In de eerste plaats kan men met een basisbreedte het bekende „gat” opvullen, wat ontstaat als men de luidsprekers van een stereo-systeem te ver uit elkaar moet zetten. Het geluidsbeeld klinkt dan vaak erg onnatuurlijk, omdat er tussen de twee speakers een dode zone is, waar geen geluid vandaan schijnt te komen. Door het mengen van een gedeelte van het linker kanaal met het rechter kanaal en een deel van het rechter kanaal met het linker kanaal, kan men het geluidsbeeld wat natuurlijker laten klinken. Men beperkt dan als het ware de kanaalscheiding, zodat er een grotere overspraak ontstaat tussen beide kanalen.

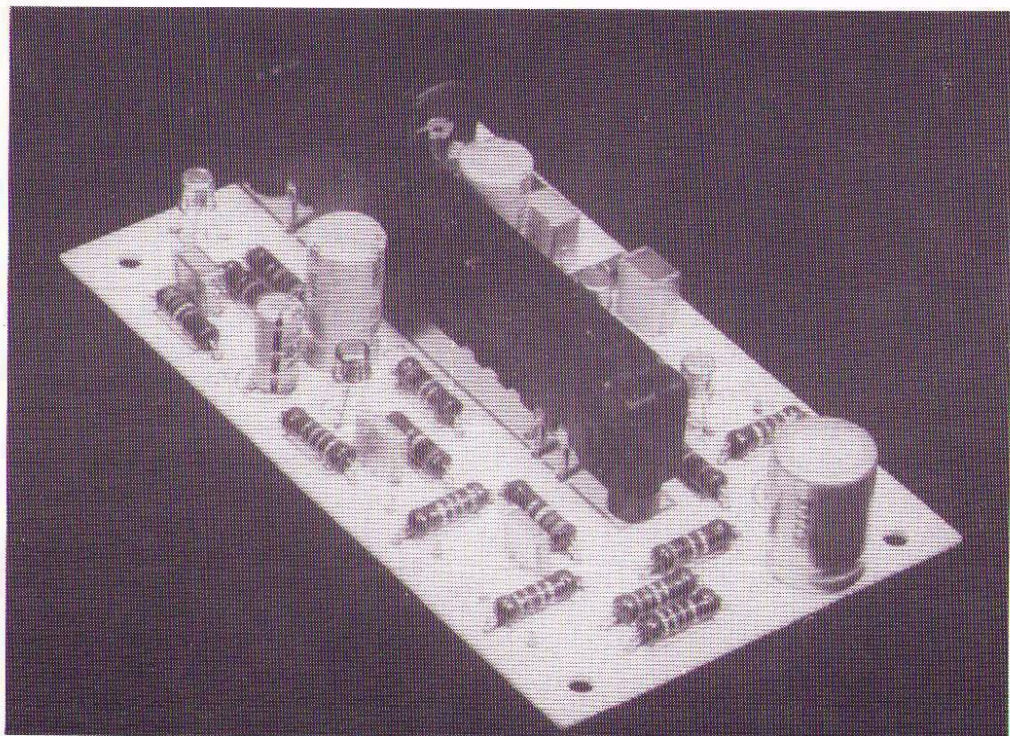
In de tweede plaats kan men, als de kanaalscheiding van nature waardeloos is, bijvoorbeeld bij een FM-tuner met een slecht afgeregelde stereo-dekoder, de overspraak kunstmatig verminderen, zodat een zuiverder stereo-beeld ontstaat.

In feite kan men dus met een basisbreedte regeling twee tegengestelde effecten bereiken.

Die twee effecten kan men toch met een schuifpotmeter instellen. In de onderste stand van dat reglement worden beide uitgangen van het moduul gevoed met hetzelfde signaal. Men heeft dan mono weergave. In de tweede uiterste stand, „super stereo”, wordt de kanaalscheiding tussen de kanalen kunstmatig verhoogd. In een bepaalde stand, „stereo”, is de invloed van het moduul te verwaarlozen.







### RUIMTELIJKE WEERGAVE

Een mens kan ruimtelijk horen, dat wil zeggen, de plaats waar een bepaald geluid vandaan komt, bepalen, door het simpele feit dat hij twee oren heeft.

Hoe het nou precies komt, dat men met behulp van twee oren ruimtelijk kan horen, is niet helemaal duidelijk, maar de meest voor de hand liggende reden is, dat de weg, die de geluidsweergave moet afleggen van de bron naar de twee oren, niet even lang is. Bovendien zijn oren gerichte geluidsontvangers, zodat de geluidsinformatie, die beide oren opvangen, niet eksakt gelijk is.

Door dit verschil in ontvangen informatie en door ervaring kan men de plaats bepalen van het ding, dat geluid produceert.

De techniek heeft niet stilgestaan, alvorens men een systeem had ontwikkeld dat ons in staat stelde ingeblikt geluid, dus geluid uit band of plaat, ook ruimtelijk te kunnen weergeven.

De techniek die dat mogelijk maakt heet stereofonie. Bij dit systeem wordt het geluid niet opgevangen door



middel van een enkel registrerend element, een mikrofoon, maar door middel van twee registratoren. De twee geluidssignalen worden op twee verschillende dragers geregistreerd, bijvoorbeeld twee verschillende groeven van een plaat (zo gingen de eerste experimenten in hun werk), of twee verschillende wanden van een plaatgroef (zoals het nu gaat), of twee verschillende sporen van een magneetband. Bij het weergeven worden deze twee gescheiden signalen opgepikt door geschikte receptoren (twee magneetkoppen, of de naald van een platendraaier-element) en afzonderlijk versterkt en door luidsprekers weergegeven.

Het zal duidelijk zijn, dat bij dit systeem de bedoeling is, dat de informatie die in de studio door middel van de ene mikrofoon wordt opgepikt, bij de luisteraar ook door middel van de bijbehorende weergever wordt weergegeven. Met andere woorden, de informatie die op het linkerkanaal wordt geregistreerd moet door de linker luidspreker worden weergegeven. Hetzelfde geldt natuurlijk ook voor de geluidsinformatie die door de rechter mikrofoon wordt opgepikt. Die moet volledig en alleen door de rechter luidspreker worden weergegeven.

In de praktijk wil het daar echter wel eens aan schorten. Om de mate, waarin aan die eis wordt voldaan op de een of andere manier te kunnen aanduiden, heeft men het begrip kanaalscheiding ingevoerd.

## OVERSPRAAK EN KANAALSCHIEDING

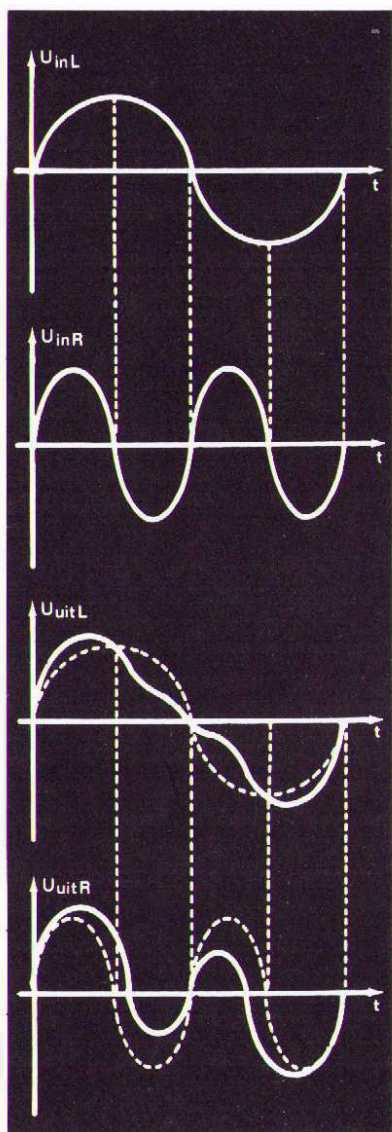
Zoals uit de eerste paragraaf volgt, wordt het ruimtelijk weer te geven signaal getransporteerd tussen de geluidsbron en de luisteraar door middel van twee kanalen, een linker en een rechter.

Als het goed is, dan mag de informatie van het linkerkanaal niet in het rechterkanaal verschijnen, en omgekeerd.

In principe zou dus de scheiding tussen linker- en rechterkanaal 100% moeten zijn.

In werkelijkheid is het echter zo, dat nooit aan die eis voldaan kan worden, omdat de technische procedé's met wier hulp men de twee geluidssignalen transporteert, hun beperkingen hebben.

Kijk bijvoorbeeld naar een groef van een stereo-plaat. In die groef zijn twee signalen opgenomen. Die groef wordt op de draaitafel echter door een enkele naald afgetast. Deze naald wordt dus verplicht tijdens het



Figuur 1. Het principe van overspraak, op een grafische manier verduidelijkt. Een gedeelte van het rechter signaal zal terug te vinden zijn op de uitgang van het linker systeem, een gedeelte van het linker signaal verschijnt op de rechter uitgang. Door deze vermenging van beide kanalen zal het geluidsbeeld vertroebeld worden.

aftasten van de plaat twee gelijktijdige bewegingen uit te voeren. Door de wetten der natuurkunde zal het zo zijn, dat die twee bewegingen elkaar wederzijds enigszins beïnvloeden. Met andere woorden, een gedeelte van het linkerkanaal dringt door in het systeem van het rechterkanaal en omgekeerd. Het gevolg is, dat de kanaalscheiding niet meer 100% zal zijn.

Ook rekorders hebben dergelijke beperkingen. De twee geluidssignalen worden immers naast elkaar op een magnetische laag op de band geregistreerd. De bedoeling is dat tijdens de weergave de bewegende band in twee naast elkaar gelegen koppen twee afzonderlijke signalen opwekt. De overdracht van de band naar de kop gaat echter elektro-magnetisch, dat wil zeggen, dat de magneetvelden van de band in de koppen een kleine elektrische spanning opwekken. Nu zullen deze twee magnetische velden elkaar enigszins beïnvloeden, met het praktische gevolg, dat ook hier een gedeelte van de geluids-informatie van het ene kanaal doordringt in het andere kanaal. Gevolg: ook bij dit systeem is de kanaalscheiding niet 100%.

In figuur 1 is getekend wat dit in de praktijk tot gevolg heeft.

Links zijn twee volledig gescheiden signalen getekend, voorstellende twee geluids-informaties. Deze twee signalen worden door een weergaveketen gestuurd.

Rechts is weergegeven, hoe die twee signalen uit dat systeem komen. De gestippelde curves geven de ideale situatie weer. Het linkerkanaal is volledig identiek aan het linker ingangssignaal. Hetzelfde geldt voor het rechter systeem. Met volle lijn is de invloed van de niet-100%-ige kanaalscheiding getekend. Op het linker uitgangssignaal treft men een gedeelte van het rechter signaal aan.

Nou zal het duidelijk zijn, dat men streeft naar een zo gering mogelijke onderlinge beïnvloeding van de beide kanalen.

De mate waarin de twee kanalen elkaar beïnvloeden wordt aangegeven met het begrip overspraak.

De overspraak wordt aangegeven in een aantal decibel. Hoe meer decibel, hoe minder de overspraak en hoe kleiner het gedeelte van het ene kanaal, dat men terugvindt in het andere kanaal.

## HET GAT IN HET GELUIDSBEELD

In de vorige paragrafen hebben we verklaard waarom



het noodzakelijk is, dat uit de luidsprekers precies dezelfde informatie komt als in de beide mikrofoons wordt gestuurd. Maar, hoe vreemd het ook mag lijken, zelfs in het praktisch niet realiseerbare ideale geval van 100% kanaalscheiding kan het voorkomen, dat het ruimtelijke geluidsbeeld, zoals dat ontstaat bij de reproductie van muziek, niet bevredigend klinkt. Dit wordt veroorzaakt door het simpele feit dat de ruimte, waarin men de muziek beluistert, niet gelijk is aan de ruimte waarin de muziek werd opgenomen. Bovendien is de plaats van de luidsprekers bij de luisteraar niet gelijk aan de plaats van de mikrofoons bij de opname.

Het gevolg van een en ander kan zijn, dat er bij het beluisteren van een plaat een soort „gat” ontstaat in het geluidsbeeld.

Met andere woorden, als men bijvoorbeeld een konsert beluistert kan de indruk ontstaan dat het orkest in twee gedeelten gesplitst is: een groepje muzikanten zit rond de linker luidspreker, dan is er een stukje niks, en het andere groepje muzikanten heeft zich verzameld rond de rechter speaker.

Hoewel deze onvolmaaktheden altijd opgelost kunnen worden door te eksperimenteren met de plaats van de geluidswedgegevers, staan allerlei praktische bezwaren de juiste plaatsing van de luidsprekers in de weg.

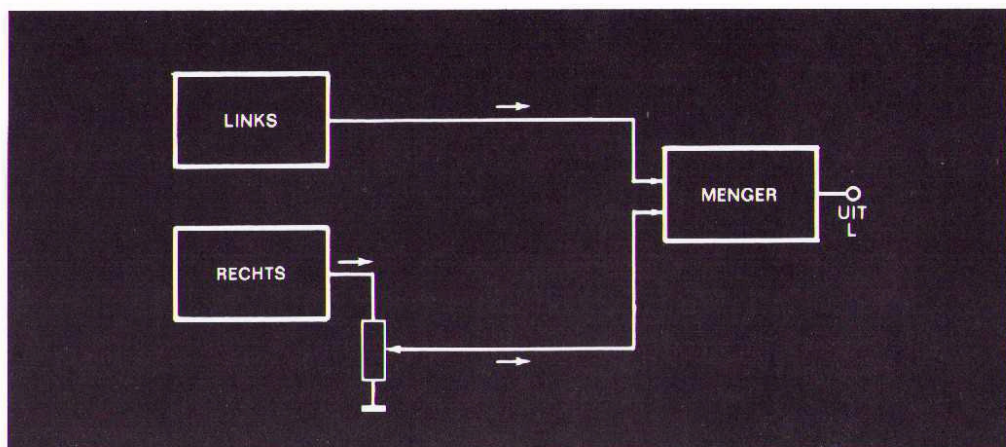
In zo'n geval kan het kunstmatig vergroten van de overspraak uitkomst brengen. Men gaat dan een gedeelte van het linker geluidssignaal mengen met het rechter kanaal, en een gedeelte van het rechter kanaal mengen met het linker kanaal.

Door deze kunstmatige invoering van overspraak zal als het ware de plaats van de luidsprekers aangepast worden aan de plaats waar men de mikrofoons in de opnamestudio had neergezet.

## **BASISBREEDTE**

Door „basisbreedte” wordt het weergegeven geluidsbeeld gedefinieerd.

Als, naar de persoonlijke smaak van de luisteraar, het ruimtelijke geluidsbeeld goed is, met andere woorden als hij de indruk heeft dat het ten gehore gebrachte geluid erg natuurlijk klinkt, dan is de basisbreedte goed. Als er een „gat” tussen de twee weergegevers wordt ervaren, of als het geluid niet erg ruimtelijk klinkt, dan is de basisbreedte niet goed en moet er



Figuur 2. Op deze manier kan men een gat in het geluidsbeeld opvullen. Men kreeft als het ware een kunstmatige overspraak, door een gedeelte van het rechter kanaal te mengen bij het linker kanaal, en natuurlijk ook omgekeerd.

aan gesleuteld worden.

Uit de vorige tekst zal duidelijk zijn wat er moet gebeuren. Als het geluid enigszins gesmoord klinkt, met andere woorden als er nauwelijks richting uit af te leiden valt, dan is de overspraak tussen beide kanalen om een of andere reden te groot. Dat wil dus zeggen, dat een te groot gedeelte van het linker signaal gemengd is met het rechter signaal, en omgekeerd. Wat er dan gesleuteld moet worden zal duidelijk zijn: met een of ander truukje moet dat gedeelte van het linker signaal weer uit het rechter signaal verwijderd worden.

Als er een gat optreedt, dan moet net het omgekeerde gebeuren, namelijk dan moet kunstmatig een gedeelte van het linker kanaal gemengd worden met het rechter en natuurlijk ook omgekeerd.

In de twee volgende paragrafen gaan we uitleggen, hoe dit elektronisch te verwezenlijken is, en daarna gaan we een methode verzinnen om beide mogelijkheden door middel van een schakeling en door middel van het verdraaien van een knop te realiseren.

### HET OPHEFFEN VAN HET GAT

In figuur 2 is de principiële schakeling getekend, die gebruikt wordt om kunstmatige overspraak tussen de beide kanalen van een geluidswaergavesysteem te kieren.

Allereerst een opmerking. Bij de bespreking van de verschillende systemen behandelen we steeds slechts een kanaal. Het zal duidelijk zijn, dat precies hetzelfde ook van toepassing is op het andere kanaal.



In figuur zien we links in de figuur twee blokjes. Dat zijn de ingangsversterkers van het toe te passen systeem; zij passen de ingangssignalen zo aan, dat er van alles en nog wat mee gedaan kan worden.

Rechts zien we een mengtrap. Het zal duidelijk zijn, dat zo'n trap noodzakelijk is; immers, men moet een gedaalte van het rechter kanaal mengen met het linker kanaal.

De uitgang van de linker voorversterker gaat rechtstreeks naar de mengtrap, dat wil dus zeggen dat op de uitgang van de menger steeds het volledige linker kanaal ter beschikking zal staan. Vandaar dat de uitgang van deze trap ook de uitgang van de schakeling voor het linker kanaal wordt genoemd.

De uitgang van de rechter voorversterker gaat via een potentiometer naar de tweede ingang van de mikser. Door middel van deze potmeter kan men de grootte van het rechter signaal regelen, dat aan de ingang van de menger wordt aangeboden. Het zal duidelijk zijn dat door de instelling van die potmeter ook de grootte van het rechter signaal wordt bepaald, wat op de linker uitgang van de schakeling aanwezig zal zijn.

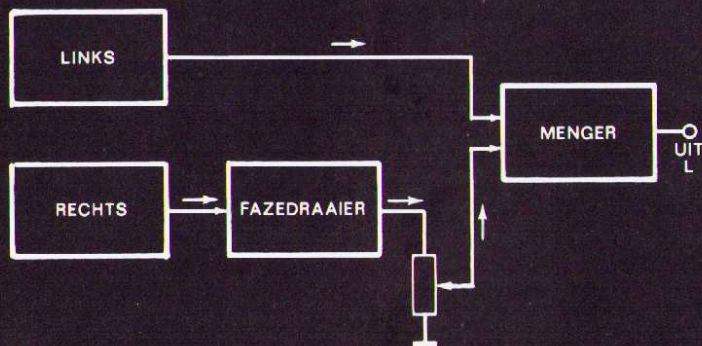
Als de potmeter in de onderste stand staat, dan zal alleen het linker signaal aan de menger worden aangeboden, met andere woorden er wordt niet gemengd tussen linker- en rechter kanaal en de schakeling doet dus in feite helemaal niets.

Als de potmeter in de bovenste stand staat, dan wordt het volledige rechter kanaal gemengd met het volledige linker kanaal. Op de uitgang van de menger ontstaat dan een signaal, dat gelijk is aan de som van linker- en rechter kanaal.

Dat wil zeggen, dat het volledige ruimtelijke effect, dat net verkregen wordt door het reproduceren van twee verschillende geluidsinformaties, om zeep is gebracht. Met andere woorden: het stereo-signaal is omgezet in een mono-signaal. De kanaalscheiding is nu gelijk aan nul, de overspraak is maximaal.

In de tussenstanden van de potmeter wordt een min of meer groot signaal van rechts gemengd met het volledige linker signaal. Met andere woorden, door het verdraaien van de potmeter kan men de overspraak regelen tussen 0% en 100%.

Men kan dus de basisbreedte regelen van volledige stereo (als men veronderstelt dat er op de ingangssignalen geen overspraak aanwezig is) tot mono.



Figuur 3. En zo kan men overspraak de baas. Nu wordt niet een gedeelte van het originele rechter kanaal gemengd met het linker, maar een precies even groot gedeelte in tegenfase. Dat signaal en het op het linker kanaal aanwezige gedeelte van het rechter signaal zullen elkaar netjes tegenwerken, met als gevolg dat er niets van overblijft.

### HET OPHEFFEN VAN OVERSPRAAK

Als er te veel overspraak tussen de kanalen aanwezig is, waardoor de basisbreedte als het ware te smal is, dan moet men die overspraak uiteraard opheffen. In een van de vorige paragrafen hebben we gezien, dat die overspraak ontstaat doordat bij het linker kanaal een gedeelte van het rechter kanaal is opgeteld.

Om die situatie te verbeteren volstaat het, dit gedeelte van het rechter kanaal uit het signaal van het linker kanaal te filteren.

Hoe dat kan, wordt toegelicht aan de hand van figuur 3.

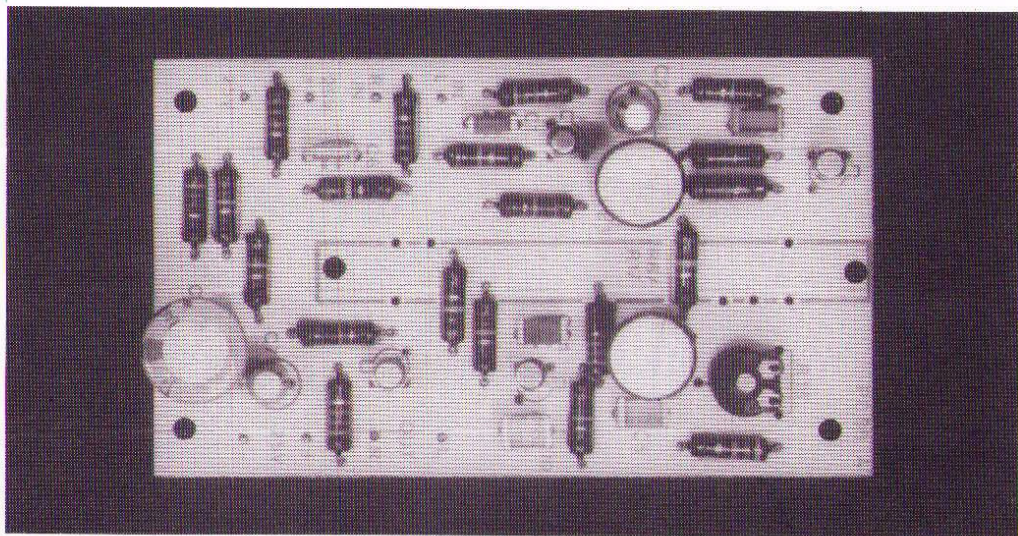
We zien ook hier de bekende ingangstrappen, die de ingangssignalen opvangen en geschikt maken voor verdere bewerking. Ook de mengtrap is weer aanwezig, want ook nu zullen we twee signalen moeten mengen. Het volledige linker signaal gaat naar de ene ingang van de menger; verder zien we dat ook nu de tweede ingang van de menger een signaal ontvangt, dat in grootte geregeld kan worden door het verdraaien van een potmeter.

Het enige verschil is, dat nu de uitgang van de rechter voorversterker wordt afgesloten door een nieuwe schakeling, een zogenaamde fazedraaiër. De uitgang van die trap stuurt de reeds bekende potmeter.

Wat is en wat doet een fazedraaiër?

Een fazedraaiër is een schakeling, die een ingangsspanning omkeert. Hoe eenvoudig dat ook klinkt,





moeilijker is het om uit te leggen wat daarmee bedoeld wordt.

Een geluidssignaal bestaat, dat is bekend, uit allemaal sinusvormige luchttrillinkjes, die door de mikrofoon worden omgezet in identieke elektrische trillinkjes. Een voorbeeldje van zo'n geluidstrilling is gegeven in figuur 1, waar zowel het linker- als het rechter kanaal worden voorgesteld door sinusvormige spanningen. Zo'n spanning heeft de tipische eigenschap, dat hij voortdurend schommelt van positief naar negatief.

Een fazedraaier heeft als kenmerk, dat hij de polariteit van de spanning aan de ingang omkeert. Met andere woorden: als de spanning aan de ingang van de trap op een bepaald ogenblik 1 volt positief is, dan zal aan de uitgang van de draaier een spanning verschijnen die 1 volt negatief is.

Die onderlinge relatie tussen in- en uitgangsspanning van een fazedraaier is op ieder willekeurig moment aanwezig.

Als we nu in gedachten de ingang van een fazedraaier en de uitgang van dezelfde schakeling bij elkaar zouden optellen, dan zouden we steeds een resultaat krijgen dat gelijk is aan nul. Immers, de som van plus 1 volt en min 1 volt is gelijk aan nul.

Dank zij deze eigenschap kunnen we de overspraak tussen twee kanalen van een stereo-systeem verbeteren.

Stel, dat op een bepaald ogenblik in het linker kanaal

100 milli-volt positieve spanning van het rechter kanaal aanwezig is.

Als we nu naar het schema van figuur 3 kijken, dan zal het duidelijk zijn dat op dat ogenblik de potmeter zo kan afgeregeld worden, dat er op de looper precies het omgekeerde van die spanning, die door de overspraak op het linker kanaal aanwezig is, kan verkregen worden. Het rechter kanaal kan door de potmeter immers zo geregeld worden, dat aan die eis voldaan wordt.

Aan de menger worden op die manier drie signalen aangeboden. In de eerste plaats het volledige linker signaal, in de tweede plaats een gedeelte van het rechter kanaal (te „danken” aan de overspraak van het systeem) en in de derde plaats precies het omgekeerde van dat deel van het rechter signaal (via de looper van de potmeter).

Aan de uitgang van de menger zal bijgevolg alleen maar het linker signaal verschijnen, omdat de twee rechter-frakties elkaar opgeheven hebben (gebeurde dat in de politiek ook maar eens).

Kortom, dank zij deze eenvoudige methode hebben we de overspraak tussen linker- en rechter kanaal verwijderd en is het geluidssignaal, de basisbreedte, verbeterd.

### **SUPER-STEREO**

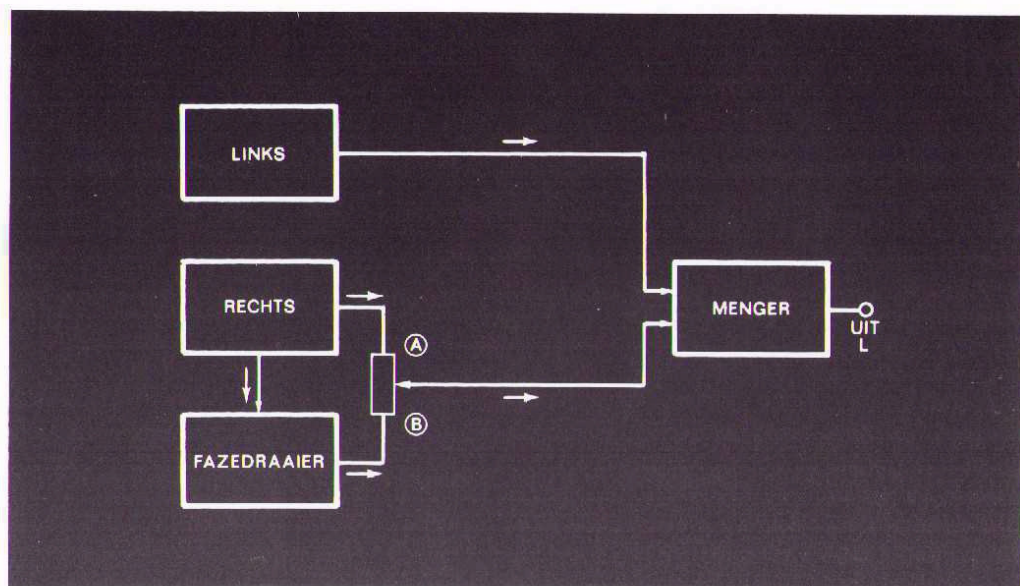
Het zal uit de vorige paragraaf duidelijk zijn, dat de overspraak volledig verdwijnt, als de potmeter precies zo wordt ingesteld, dat op de looper net zoveel signaal van rechts aanwezig is, als door de overspraak aanwezig is in het linker kanaal.

Regelt men de potmeter zo, dat het signaal kleiner is, dan zal nog een gedeelte van het rechter signaal aanwezig blijven, en de overspraak dus niet volledig verdwijnen.

Minder duidelijk is wat er gebeurt als men de potmeter zo regelt, dat op de looper meer „negatief” rechts staat dan er „positief” rechts signaal aanwezig is in het linker kanaal. Als we dan de som van de drie aan de menger aangeboden signalen maken, dan zullen we vaststellen, dat er nu op de linker uitgang weer signaal van rechts aanwezig is, maar nu in tegenfase met het echte rechter signaal.

In de praktijk komt dit er op neer, dat men het geluidsbeeld ruimtelijker gaat ervaren dan in de ruimte,





waar het geluid werd opgenomen. Met andere woorden, er ontstaat een soort „super-stereo“.

### EN NU DE KOMBINATIE VAN BEIDE SCHAKELINGEN

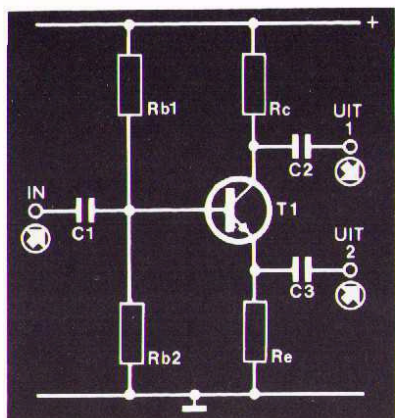
Als we de schema's van figuur 2 en 3 bekijken dan stellen we vast dat die veel gemeenschappelijk hebben. Het zal duidelijk zijn, dat het zeer eenvoudig mogelijk moet zijn, om beide schema's te combineren tot een praktisch bruikbaar systeem, waarmee men zowel een teveel aan overspraak kan opheffen als een gat in het geluidsbeeld kan opvullen.

Hoe dit kan, is getekend in figuur 4.

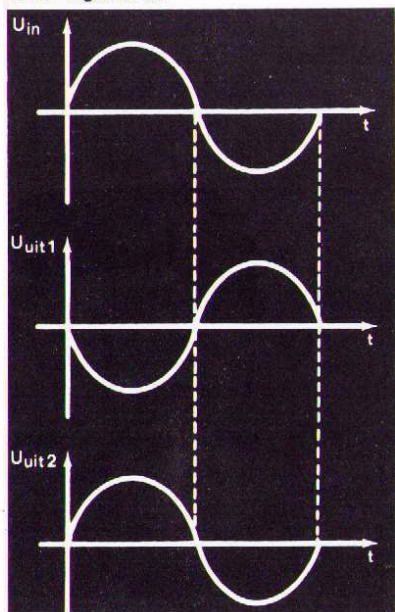
Aan de stroomloop van het linker signaal is niets veranderd. De voorversterker stuurt nog steeds zijn uitgangsspanning volledig naar de menger. Alleen in de kring van het rechter signaal is iets gewijzigd. De voorversterker stuurt nu zowel een aansluiting van de potmeter als de fazedraaiër. Deze laatste schakeling stuurt de tweede aansluiting van de potmeter. De looper gaat, als vanouds, naar de tweede ingang van de menger.

Het zal nu duidelijk zijn, dat men door het verdraaien van de looper van de potmeter van punt A naar punt B alle tot nu toe beschreven mogelijkheden doorloopt. Staat de looper op punt A, dan wordt een volledige

Figuur 4. En zo kunnen beide mogelijkheden van figuur 2 en van figuur 3 gemengd worden. De potmeter heeft nu niet meer, zoals te doen gebruikelijk, een zijde aan massa, maar is geschakeld tussen het signaal dat gelijk is aan het rechter ingangssignaal, en het signaal dat in tegenfase is met het origineel. Door het verdraaien van de looper van de potmeter heeft men alle gewenste mogelijkheden in een potmeterdraai.



Figuur 5. Dit is de eenvoudigste vorm van een fazedraaier. Doordat de stroom, die als gevolg van het aanleggen van een spanning tussen basis en emitter zowel de emitter- als de kollektorweerstand doorloopt, zal de spanning op de emitter gelijkvormig variëren als de spanning op de basis, maar de spanning op de kollektor in tegenfase.



Figuur 6. Hier zien we de werking van de schakeling van figuur 5 nog eens netjes in grafiek gezet. Duidelijk blijkt, dat de spanningen op emitter en kollektor elkaars spiegelbeeld zijn.

kopie van het rechter signaal naar de ingang van de menger gestuurd, en verschijnt aan de uitgang van de mikser de som van links en rechts, wat per definitie mono is.

Staat de looper op punt B, dan wordt het volledige rechter signaal geïnverteerd bij het linker kanaal opgeteld, en ontstaat de uiterste vorm van super-stereo.

In de tussenstanden van de looper heeft men iedere gewenste combinatie tot zijn beschikking.

Als de looper in het midden staat, dan zal er op dat deel van de potmeter helemaal geen signaal aanwezig zijn. Daar immers de bovenste aansluiting op bijvoorbeeld + 1 volt staat en de onderste op hetzelfde moment op een spanning van - 1 volt, zal het middenpunt van de potmeterbaan spanningsloos zijn. Als men de looper op dat punt instelt, dan zal er geen signaal gemengd worden met links en is de uitgangsspanning precies gelijk aan de ingangsspanning.

In dat geval heeft men dus normale stereo, waarmee bedoeld wordt, dat er geen verschil is tussen in- en uitgang van de schakeling en dat de schakeling dus niets met het signaal doet.

## DE FAZEDRAAIER

In figuur 5 is een praktisch schema van een fazedraaier getekend. De trap bestaat uit een transistor en een handjevol weerstanden.

De basis wordt door middel van een spanningsdeler ingesteld op een bepaalde, werkbare spanning. Wat gebeurt er nu, als de schakeling met de voedingsspanning verbonden wordt?

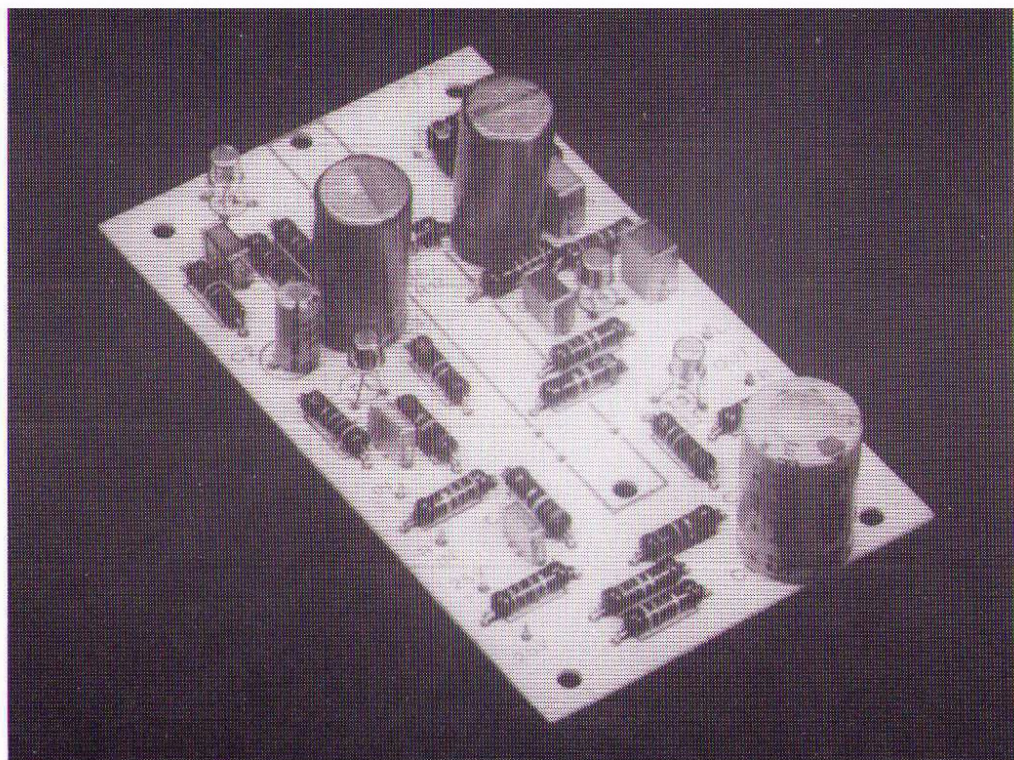
Door de spanning op de basis zal er door de transistor een bepaalde stroom gaan lopen. Het gevolg is, dat er over de weerstanden in kollektor en emitter spanningsvallen ontstaan.

Dat is de „stabiele” toestand van de schakeling, dus zonder signaal aan de ingang.

Stel nu, dat we een geluidssignaal aan de basis aanleggen. Stel verder, dat dit signaal op een bepaald ogenblik positief is. Het gevolg is dat de spanning tussen basis en emitter groter zal worden, zodat er meer stroom door de transistor gaat lopen. Door deze grotere stroom zullen er over de weerstanden in emitter en kollektor grotere spanningen optreden.

Dus: de spanning op de emitter gaat stijgen en de spanning op de kollektor gaat dalen. Dat eerste is





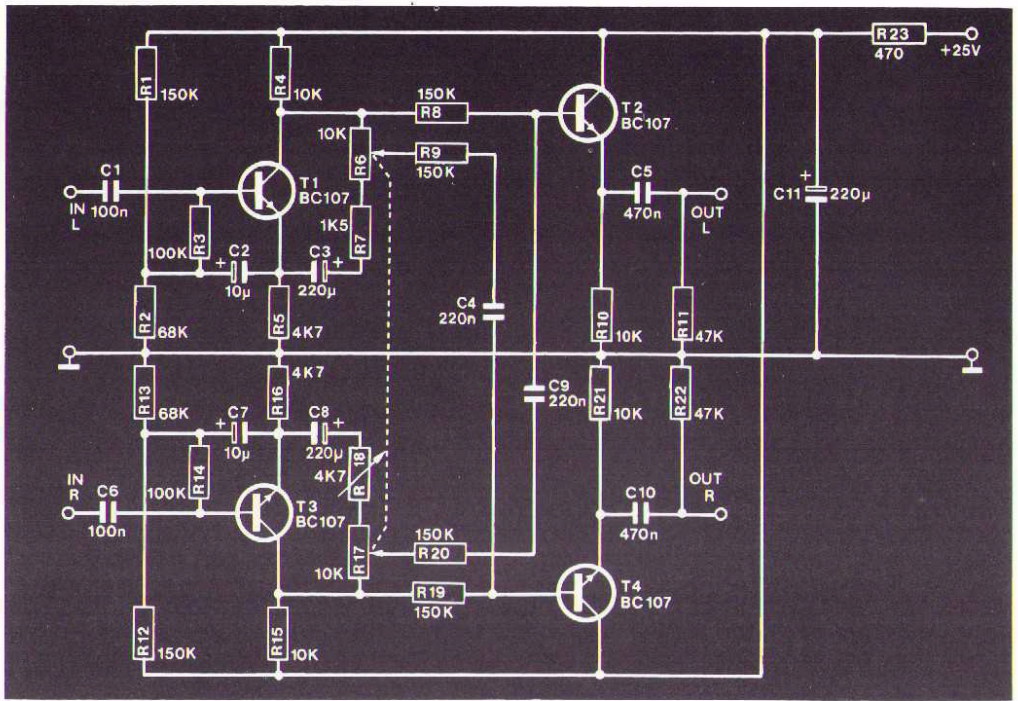
duidelijk, dat tweede niet zo dadelijk. De spanningsstijging over de kollektorweerstand wordt gemeten tussen de voedingsaansluiting en de kollektor, want tussen deze twee punten staat de weerstand immers. Als die spanning echter toeneemt, dan wil dit zeggen dat de spanning op de kollektor ten opzichte van massa afneemt.

Als we nu niet de momentele situatie bekijken, maar het spanningsverloop in functie van de tijd op verschillende punten van de schakeling, dan komen we terecht bij figuur 6.

Duidelijk blijkt nu, dat de spanning op de emitter hetzelfde verloop heeft als de spanning op de basis, maar dat de spanning op de kollektor tegengesteld verloopt. Met andere woorden: de spanning op de kollektor is in tegenfase met de spanning op de emitter.

Als we dus tussen de emitter en de kollektor een potentiometer aansluiten, dan hebben we precies wat we zoeken.





Figuur 7. Het praktische schema van de basisbreedte is de elektronische vertaling van het blokschema van figuur 4. De transistoren T1 en T3 zijn de fazedraaiers, hun soortgenoten T2 en T4 de men-  
geren.

## HET VOLLEDIGE SCHEMA

Aan de hand van de bespreking van het principe kan het volledige schema van de basisbreedteregeling, zoals dat staat afgebeeld in figuur 7, verduidelijkt worden.

Beide ingangssignalen gaan naar een eerste trap, opgebouwd rond de transistoren T1 en T3. Deze schakelingen, die volledig identiek van opbouw zijn, hebben twee uitgangen: de ene zit in de emitter, de andere in de kollektor.

De spanning op de emitter is in fase met de ingangsspanning. Het signaal op de kollektor daarentegen is in tegenfase met de spanning op de ingang: als de ingangsspanning stijgt, dan zal de spanning op de kollektor dalen.

Tussen kollektor en emitter is de reeds vaak genoemde potentiometer geschakeld. Als we de looper van dit onderdeel verplaatsen, zal er op die looper een spanning ontstaan die ofwel in fase is met het ingangssignaal (als de looper aan de kant van de emitter staat), ofwel in tegenfase is met het ingangssignaal (als de looper aan de kant van de kollektor staat).



Nu zal het, zelfs zonder diepzinnige beschouwingen, duidelijk zijn dat er een stand van de loper is, waarbij er op die loper helemaal geen spanning staat. Aan beide zijden van de potmeter staat immers een spanning, die eksakt het omgekeerde of inverse is van de spanning, die aan de andere kant van de potmeter staat. Als alleen maar die potmeter tussen de emitter en de kollektor geschakeld was, en als de spanning op de emitter eksakt gelijk was aan de spanning op de kollektor (we bedoelen hier natuurlijk eksakt gelijk in grootte; dat de spanning omgekeerd is weten we al) dan zou dat punt precies in het midden van de potmeter liggen. Nu is aan geen van beide eisen voldaan. In de eerste plaats zal de spanning op de emitter kleiner zijn dan de spanning op de kollektor, maar bovendien staat er in serie met de potmeter nog een kleine weerstand. Beide gegevens hebben als gevolg dat het punt, waar er geen spanning op de loper van de potmeter staat, op ongeveer een derde van de volledige schuiflengte ligt. Dat is uiteraard niet zonder reden gedaan. Het regelbereik tussen „mono” en „stereo” is dan het grootst, wat erg praktisch is. Het bereik van „stereo” tot „super-stereo” is toch niet zo belangrijk en vandaar dat we dat gedeelte een klein regelbereik hebben gegeven.

Tussen haakjes: voor lezers die steeds alle details van een schakeling willen doorgronden zij gezegd dat de verschillende waarden van de weerstanden in emitter en kollektor er de oorzaak van zijn, dat de spanningen op die elementen niet even groot zijn.

Het tweede gedeelte van de schakeling bestaat uit de minger. Dat is een gewone resistieve mikser, opgebouwd rond de transistoren T2 en T4. Bij de bespreking van dit deel van de schakeling beperken wij ons tot het linker kanaal; het rechter is uiteraard volledig identiek.

De spanning op de kollektor van T1 gaat volledig naar de basis van T2. Deze halfgeleider is geschakeld als emittervolger, dat wil dus zeggen dat de spanning op de emitter volledig gelijk is aan de spanning op de basis. Via weerstand R8 wordt het volledige linker signaal aan de basis van T2 aangeboden.

Behalve dit signaal moet er op de basis van deze halfgeleider ook nog een gedeelte van het rechter signaal terecht komen, al dan niet in fase met het signaal op de rechter ingang van de schakeling. Dat signaaltje

## ONDERDELENLIJST

### WEERSTANDEN:

R 1 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 2 = 68 k-ohm, 1/4 watt  
R 3 = 100 k-ohm, 1/4 watt  
R 4 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 5 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 6 = 10 k-ohm, schuifpot,  
stereo, lin  
R 7 = 1,5 k-ohm, 1/4 watt  
R 8 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 9 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 10 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 11 = 47 k-ohm, 1/4 watt  
R 12 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 13 = 68 k-ohm, 1/4 watt  
R 14 = 100 k-ohm, 1/4 watt  
R 15 = 10 k-ohm, 1/4 watt

R 16 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 17 = zie R 6  
R 18 = 4,7 k-ohm, trimmer  
R 19 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 20 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 21 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 22 = 47 k-ohm, 1/4 watt  
R 23 = 470 ohm, 1/4 watt

### KONDENSATOREN:

C 1 = 100 nF, MKM  
C 2 = 10 uF, 16 V print  
C 3 = 220 uF, 16 V print  
C 4 = 220 nF, MKM  
C 5 = 470 nF, MKM  
C 6 = 100 nF, MKM  
C 7 = 10 uF, 16 V print  
C 8 = 220 uF, 16 V print  
C 9 = 220 nF, MKM

C 10 = 470 nF, MKM  
C 11 = 220 uF, 25 V print

### HALFGELEIDERS:

T 1 = BC 107  
T 2 = BC 107  
T 3 = BC 107  
T 4 = BC 107

### DIVERSEN:

1 x print BB-a  
1 x frontje FP-BB-a  
8 x printsoldeerlipjes  
2 x 5 mm afstandsbussen  
4 x 20 mm afstandsbussen  
2 x M 3 x 10 schroeven  
4 x M 3 x 30 schroeven  
8 x M 3 moertjes

wordt afgetakt van de loper van de potmeter R17 en via de scheidingskondensator C9 en de weerstand R20 naar de basis van T2 gevoerd.

De werking van een en ander zal nu duidelijk zijn. Als de loper van potentiometer R17 verbonden is met de kollektor van transistor T3, dan zal het volledige rechter signaal worden opgeteld bij het volledige linker kanaal. Op de basis van T2 ontstaat dus de som van rechter en linker informatie, met andere woorden op die basis staat het mono-signaal. In dit geval hebben we de volledige kanaalscheiding om zeep geholpen.

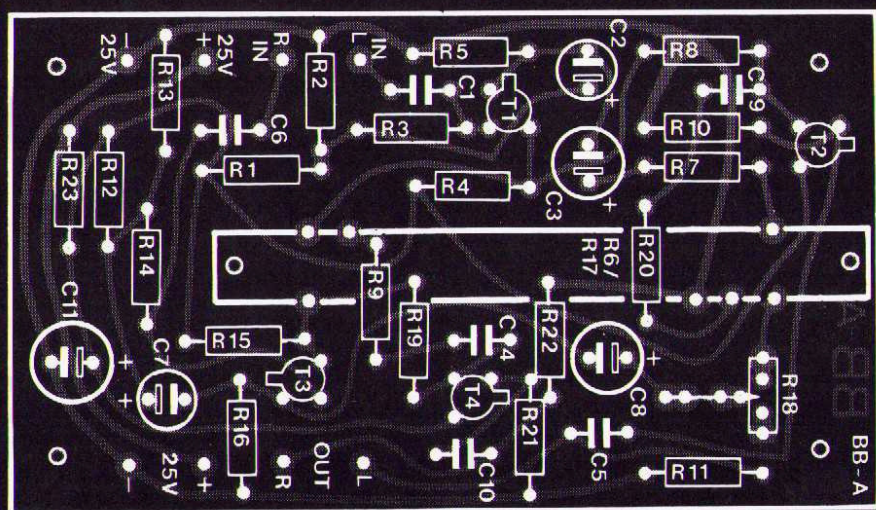
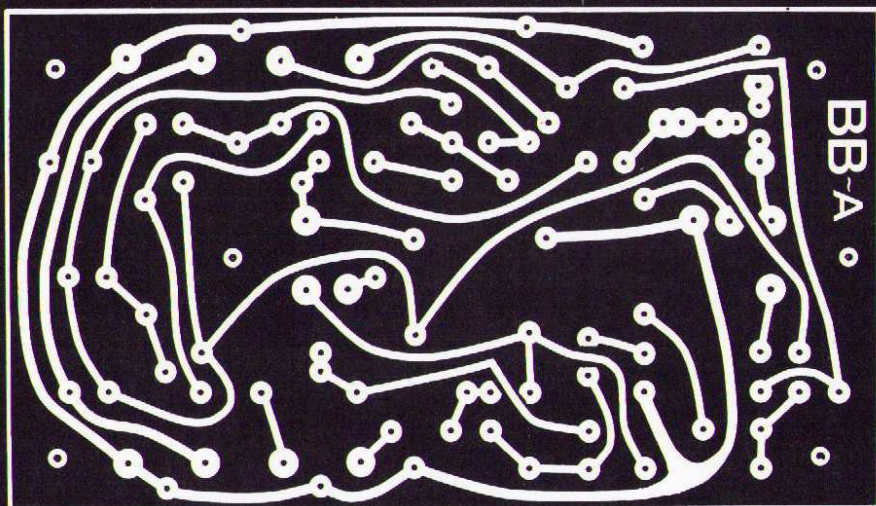
Staat de loper van potentiometer R17 aan de kant van de emitter van T3, dan zal een signaaltje dat in tegenfase is met het rechter ingangssignaal gemengd worden met de linker informatie. Met andere woorden, nu wordt een eventueel op het linker signaal aanwezig deel van het rechter kanaal (slechte kanaalscheiding) tegengewerkt, en bij een gunstige instelling van de potmeter zelfs volledig geelimineerd. Met andere woorden, de kanaalscheiding wordt verbeterd, wat wordt aangeduid met de kreet „super-stereo”.

Het signaal wordt via een scheidingskondensator C5 afgenomen van de emittervolger T2.

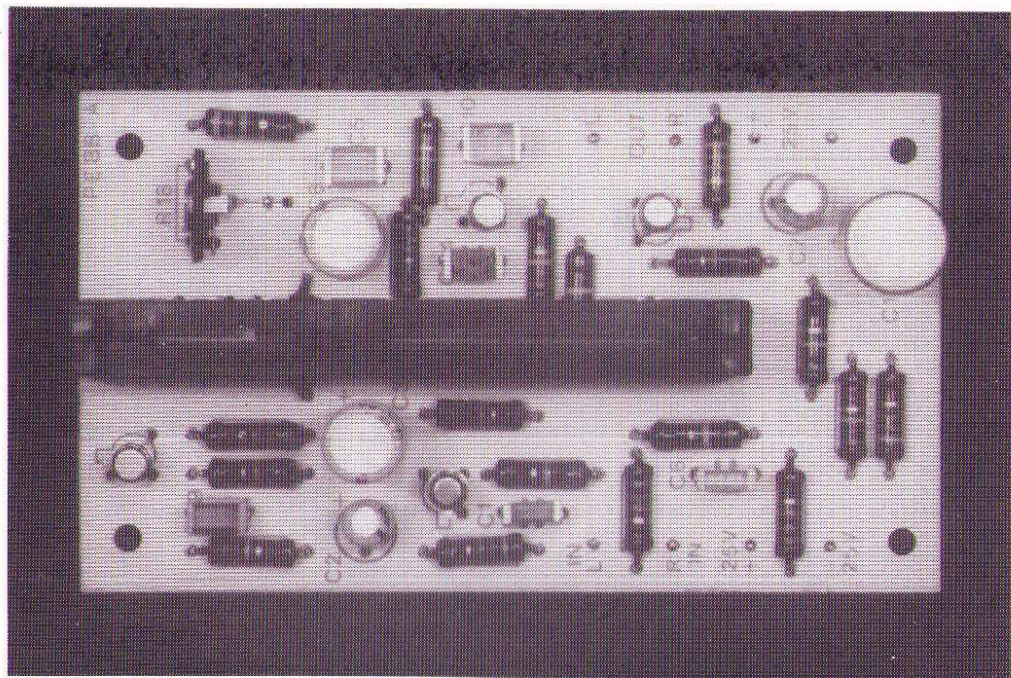
## DE BOUW VAN DE SCHAKELING

De print van de schakeling, met als kode BB-a, is getekend in figuur 8. De bestukking van deze print volgt uit figuur 9.









De bouw zal geen problemen opleveren, het is allemaal recht-toe recht-aan soldeerwerk.

Enige onderdelen zitten onder de schuifpotmeter, vandaar dat we een extra fotootje hebben gemaakt, alvorens de potmeter op de print werd bevestigd.

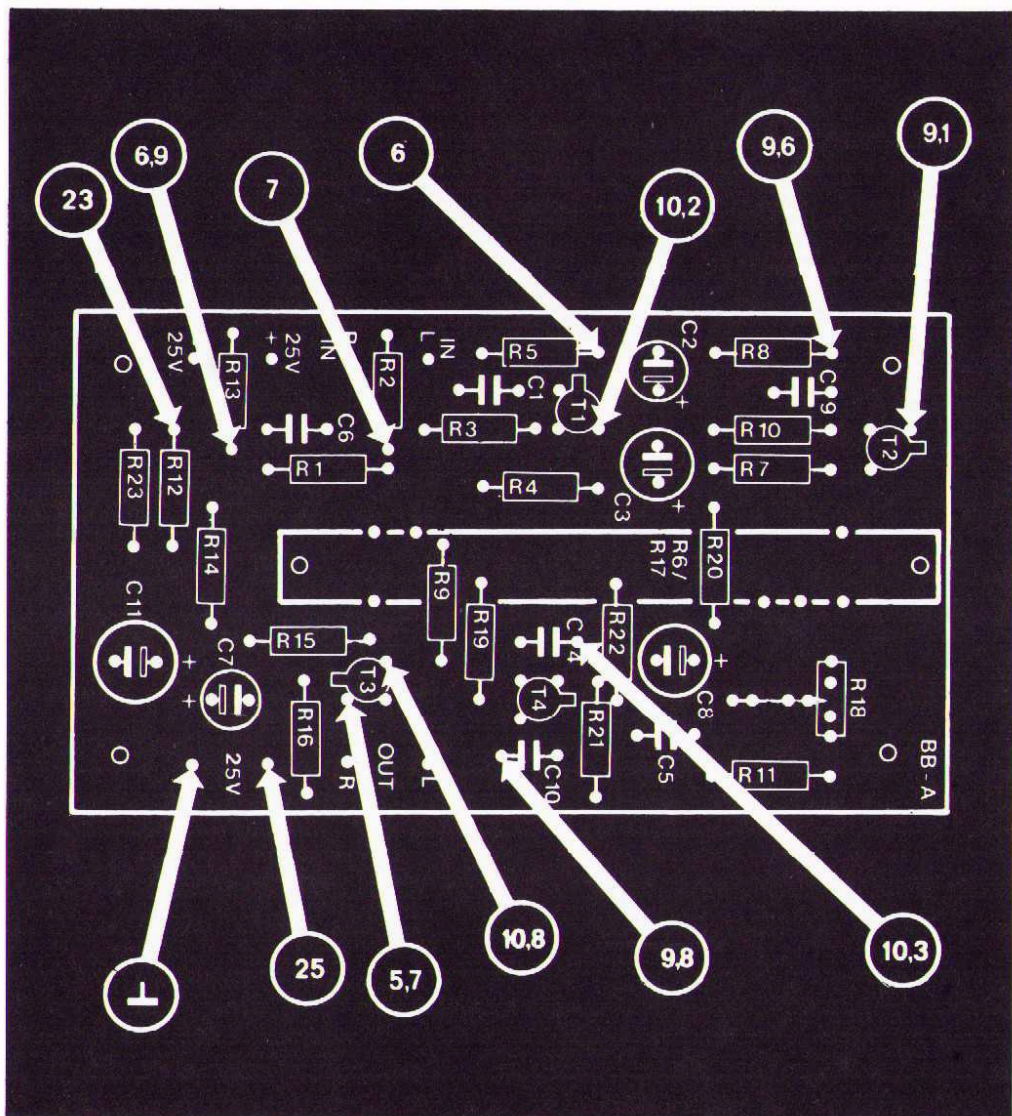
Deze potmeter wordt door middel van 5 mm lange afstandsbusjes op de gebruikelijke manier op de print bevestigd. Dat wil zeggen, dat men aan alle aansluitlipjes twee centimeter lange draadjes soldeert, het lichaam van de potmeter op de print schroeft, tezelfdertijd de draadjes door de gaatjes in de print duwt en daarna deze laatste op de soldeereilandjes van de print vastsoldeert. Tussen haakjes: gebruik een potmeter van het merk Preh of AB; onze schakelingen worden steeds met deze onderdelen ontworpen en zo ontstaan er geen aansluitfouten.

Na dit alles kan de print, ook alweer door middel van lange schroeven en afstandsbusjes, samengebouwd worden met het frontplaatje. Zoals gebruikelijk wordt de afstand tussen print en front 22 mm.

#### AFREGELING

In de schakeling is een trimpotmeter, namelijk R18,





opgenomen. Dergelijke onderdelen hebben de nare eigenschap dat ze afgeregeld willen worden.

Allereerst enige woorden over de noodzaak van de trimmer. Het is natuurlijk van levensbelang voor de schakeling, dat het punt, waarbij op de lopers van de potmeters geen signaal aanwezig is (100% stereo dus) voor beide potmeters gelijk is. Nu hebben potmeters tamelijk grote onderlinge afwijkingen. Deze worden

Figuur 10. De spanningsplaattegrond van de schakeling, opgemeten met een universeelmeter met een gevoeligheid van 20 kilo-ohm per volt.

ondervangen door in serie met een van de potmeters een trimmer op te nemen.

Het afregelen gaat als volgt. De afgebouwde basisbreedte-regeling wordt met een voeding van 25 volt verbonden, en de beide uitgangen worden aangesloten op de ingangen van een stereo-versterker. De ingangen blijven open.

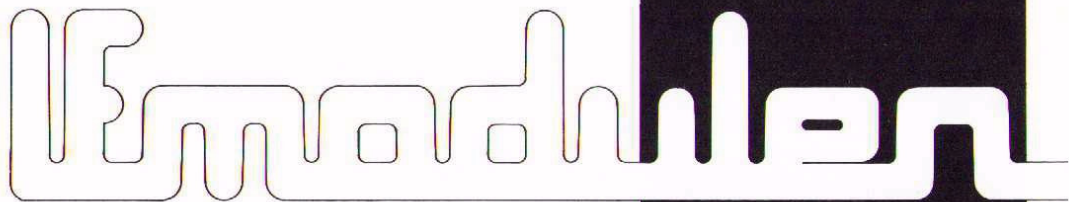
Nu raakt men met een vinger de linker ingang van de print aan. De balans-instelling van de versterker wordt zo geregeld, dat het linker kanaal volledig onderdrukt wordt. Als alles goed is, zal uit de rechter luidspreker een forse brom opstijgen. Dat is het gevolg van de 50 hertz, die het menselijk lichaam oppikt van het overal aanwezige lichtnet. De schuifpotmeter wordt nu ingesteld op minimale brom.

Vervolgens raakt men met de vinger de rechter ingang van de print aan. De balanspotmeter van de versterker verdraait men volledig, zodat het rechter kanaal nu stil is. De stand van de schuifpotmeter op de print laat men ongemoeid. Met een schroevendraaier verdraait men de trimmer op de print, tot ook nu de brom uit de linker luidspreker minimaal is. De schakeling is nu afgeregeld en klaar voor gebruik.

Figuur 10 geeft de spanningsplattegrond van de schakeling.



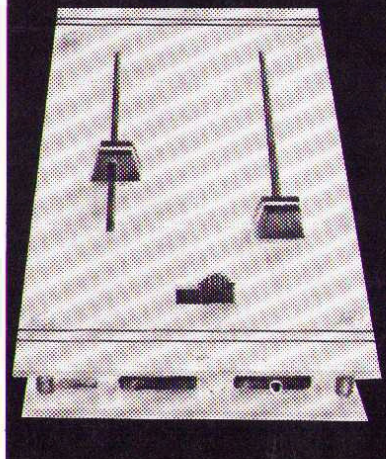
# tremolo



Een tremolo is een apparaat waarmee men de sterkte van een geluidssignaal ritmisch en snel kan laten variëren tussen nul en maximum. De elektronika van een tremolo kan in principe opgebouwd worden met een handjevol weerstanden en enige transistoren. Het is dus enigzins vreemd dat in dit toch wel op eenvoud gerichte boek een tremolo schakeling wordt beschreven, die niet minder dan vijf operationele versterkers en twee FET's bevat. Na grondige experimenten met de hogergenoemde eenvoudige schakelingen is echter gebleken, dat op die manier geen goede tremolo op te bouwen is. Nu zijn we steeds van mening dat de na te streven eenvoud van een schakeling niet ten koste van de bruikbaarheid mag gaan. Men bewijst de nabouwer een veel grotere dienst door een schakeling van stel fl. 50,00 te publiceren die goed werkt, dan door een prul van twee tientjes te beschrijven wat nauwelijkt het beoogde effect kan opwekken.

Vandaar dus een vrij uitgebreide tremolo in dit hoofdstuk, die gebruik maakt van geavanceerde technieken als FET's en op-amp's, maar die erg goed doet wat ervan verwacht wordt.

De schakeling kan moduleren met een frekwentie tussen 1,5 en 30 hertz, de modulatie-diepte is regelbaar tussen 0 en 100 % en is bovendien symmetrisch ten opzichte van het signaal. De tremolo is door middel van een in het volgende hoofdstuk beschreven schakelingetje zeer eenvoudig uit te breiden tot lesley. Een heleboel kretten die, zoals gebruikelijk in dit boek, uitvoerig toegelicht worden in de inleiding.



## TREMOLO

Het tremolo-effekt is een geluidsverschijnsel waarvan je houdt of niet houdt. Verder is het duidelijk dat niet iedere soort muziek er zich toe leent. Zo zal klassieke muziek eerder verkracht dan verrijkt worden door er tremolo op toe te passen. Erg geschikt is elektronische orgelmuziek in het progressieve genre, het geluid van elektrische gitaren en dergelijke. Ook kan men tremolo met sukses toepassen op de menselijke stem als men bij bandopnamen erg vervreemdende effecten wil verkrijgen.

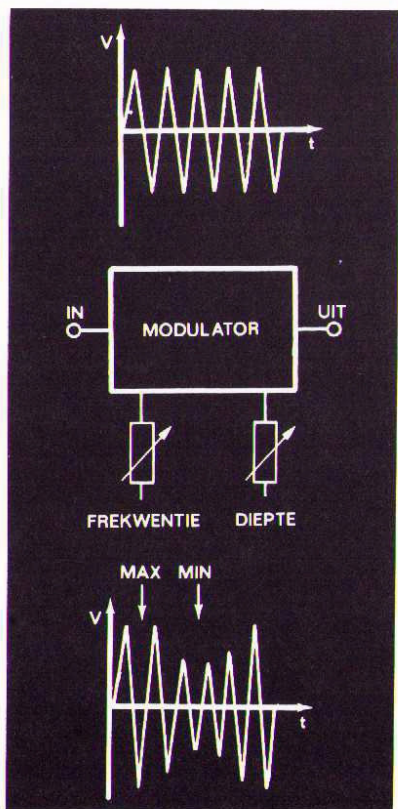
Het tremoloverschijnsel ontstaat door het volume van het geluidssignaal ritmisch in sterkte te variëren. Men zou het kunnen vergelijken met het geluid dat ontstaat, als men de volumepotmeter van een versterker zeer snel en continu heen en weer draait.

Het tipische tremolo-effekt ontstaat, als dit variëren van het volume met een frekwentie van rond de 6 hertz gebeurt, met andere woorden, wanneer men de volumepotmeter zes keer per seconde heen en weer zou draaien. Het is duidelijk dat dit niet kan en dat dus een elektronische methode uitgedacht moet worden. Dat is dus de taak van de tremolo-schakeling.

Het elektronisch ritmisch variëren van de grootte van een signaal noemt men moduleren. In figuur 1 is het principe van moduleren voorgesteld.

Aan de ingang van de modulator wordt een signaal aangelegd met een konstante amplitude (dat is de officiële naam voor de grootte van een signaal). De modulator zal dit signaal zo bewerken, dat de amplitude van het ingangssignaal varieert. De werking van de modulator kan op twee manieren beïnvloed worden. In de eerste plaats kan men de frekwentie, waarmee gemoduleerd wordt, wijzigen. Bij de in dit hoofdstuk beschreven tremolo is deze modulatiefrekwentie regelbaar tussen 1,5 hertz en 30 hertz. Dit is, in vergelijking met de in de ondertitel vermelde drie-transistor-schakeling, een erg breed spectrum. Dit is dus al een voordeel van deze schakeling.

In de tweede plaats kan men de mate van modulatie, de modulatiepte, variëren. Bij deze nabouwschakeling kan men het ingangssignaal voor de volle 100% moduleren, met een tamelijk kleine vervorming. Dat wil dus zeggen, dat het uitgangssignaal van de modulator bij de met minimum gemerkte pijl volledig zal



Figuur 1. Het principe van een amplitude-modulatie. Door middel van twee potentiometers kunnen de modulatiepte en de modulatiefrekwentie gevarieerd worden.



wegvallen.

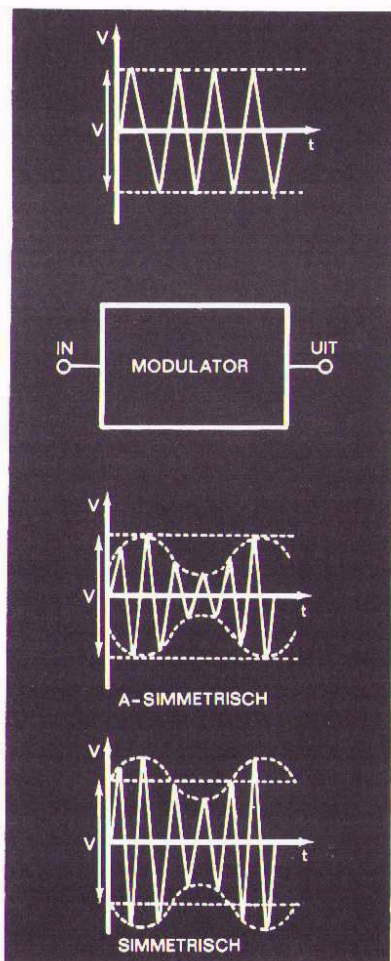
Deze 100% modulatie diepte, gekombineerd met de erg lage modulatiefrequentie van 1,5 hertz, staat garant voor zeer vreemdsoortige geluidseffekten.

Een volgende eigenschap, die even toegelicht moet worden, is het feit dat de schakeling symmetrisch moduleert. Dit wordt toegelicht aan de hand van figuur 2. Aan de ingang van de modulator wordt een signaal aangeboden met een amplitude van  $V$  volt. De twee uitgangsspanningen in figuur 2 duiden het verschil tussen symmetrisch en a-symmetrisch moduleren aan.

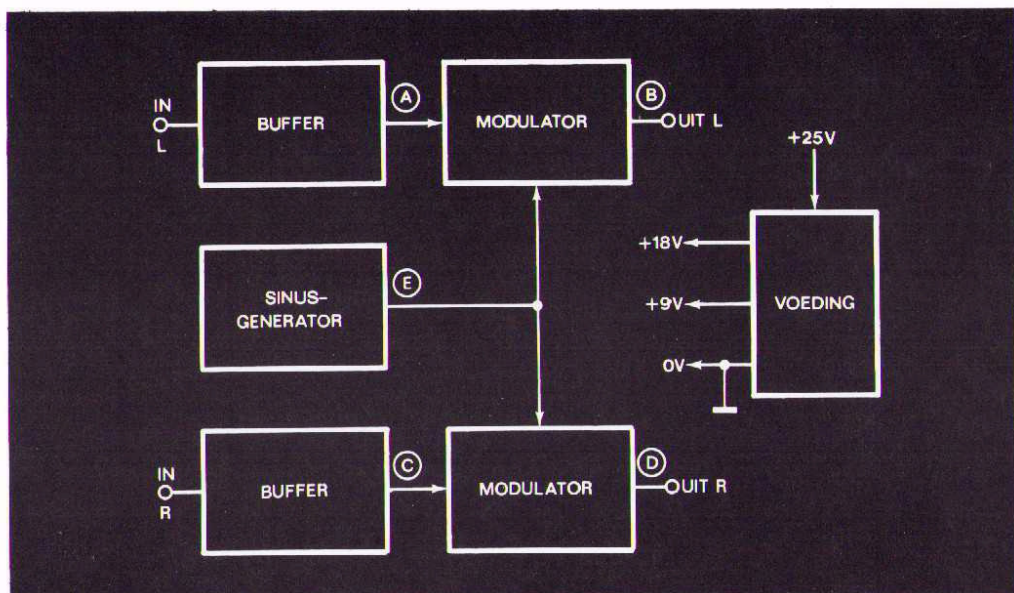
Boven is het a-symmetrisch gemoduleerde signaal getekend. De amplitude verandert ritmisch, maar het signaal wordt door de modulatie steeds kleiner dan het signaal aan de ingang. Dit heeft tot gevolg dat men de indruk krijgt alsof het gemiddelde geluidsvolume van het gemoduleerde signaal afneemt, als men de modulatie diepte laat toenemen.

In de onderste uitgangsspanningsgrafiek van figuur 2 is een symmetrische modulatie weergegeven. Bij deze modulatievorm zal de amplitude van het uitgangssignaal schommelen rond de amplitude van het ingangssignaal. Met andere woorden: het uitgangssignaal wordt ritmisch groter en kleiner dan het ingangssignaal. Het zal duidelijk zijn dat het voordeel van deze methode is, dat het gemiddelde geluidsvolume konstant blijft.

Tot slot nog een woord over de in de ondertitel genoemde uitbreidingsmogelijkheid van deze schakeling. Lesley is een verschijnsel dat enigszins vergelijkbaar is met tremolo. Lesley kan echter alleen toegepast worden bij stereo-signalen. Ook bij lesley worden de beide geluidskanalen gemoduleerd, maar wel met een tegengestelde fase. Als bijvoorbeeld het linkerkanaal luider wordt, dan zal het rechterkanaal evenveel zwakker gaan klinken. Het geluidssignaal slingert als het ware tussen de luidsprekers heen en weer. Deze elektronische lesley mag niet verward worden met de mechanische. De mechanische lesley is een speciale techniek, gebruikt bij de orgelbouw. Hierbij wordt in de luidsprekerkast een draaiende schijf voor de luidspreker bevestigd, voorzien van een gat. Het geluidseffect van deze mechanische lesley is niet vergelijkbaar met het geluid, verkregen door toepassing van een elektronische lesley.



Figuur 2. Het verschil tussen a-symmetrisch en symmetrisch moduleren volgt uit deze figuur. Bij de tweede methode blijft het gemiddelde geluidsnivo even groot.



Figuur 3. Het blokschema van de tremolo.

De uitbreidings-unit, die de tremolo omvormt tot lesley, wordt in het volgende hoofdstuk van dit boek beschreven en kan zeer eenvoudig samengebouwd worden met de tremolo.

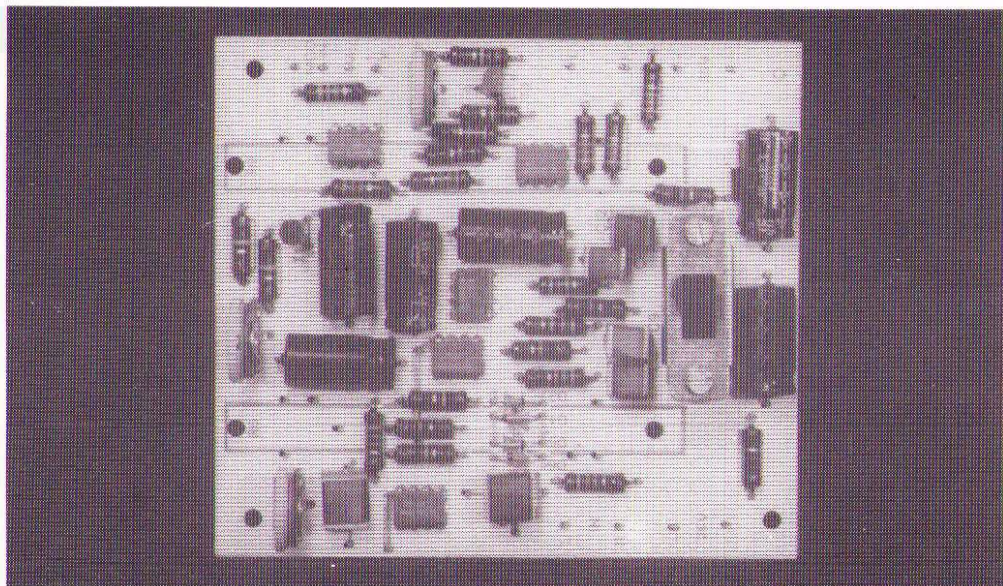
### HET BLOKSCHEMA

Uit de inleiding valt af te leiden, dat een tremolo bestaat uit twee schakeleenheden: een modulator en een generator die de spanning opwekt waarmee gemoduleerd wordt. Omdat de unit opgenomen wordt in een stereo-geluidsketen, is het duidelijk dat er twee identieke modulatoren nodig zijn: eentje voor het linker- en eentje voor het rechterkanaal.

Uit het blokschema van figuur 3 blijkt, dat er nog enige blokken bijkomen. Zo is een nadeel van de gebruikte modulatieschakeling, dat ze een zeer lage ingangsimpedantie heeft. Als men deze modulatoren rechtstreeks aan de uitgang van het vorige moduul zou koppelen, of rechtstreeks aan de uitgang van bijvoorbeeld een bandopnemer, dan zouden deze apparaten te zwaar belast worden. Vandaar dat twee bufferschakelingen tussengeschakeld worden, die een zeer hoge ingangs- en een zeer lage uitgangsimpedantie bezitten.

Een verhaal apart is de voedingsverzorging van de schakeling. De modulen hebben, zoals bekend, een

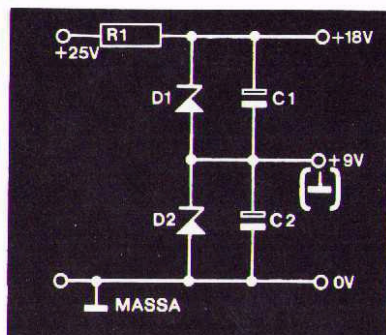




voedingsspanning van + 25 volt. Nu kunnen de schakelingen van de tremolo zeer vereenvoudigd worden, als men de gebruikte operationele versterkers door middel van een symmetrische spanning kan voeden. Dat wil zeggen, dat er twee voedingsspanningen nodig zijn die symmetrisch liggen ten opzichte van massa. Normaal betekent dit dus het gebruik van een positieve en een even grote negatieve voedingsspanning. Dit kan hier duidelijk niet. Vandaar dat een klein truukje wordt uitgehaald. Uit de + 25 volt worden twee positieve spanningen afgeleid, waarvan de ene eksakt het dubbele is van de andere. Deze laatste spanning wordt nu benoemd tot kunstmatige massa voor de interne schakeling van de tremolo. De dubbele voedingsspanning is dan de positieve voedingsspanning voor de op-amps, de echte massa de negatieve voedingsspanning. De verschillende blokken worden in de volgende paragrafen besproken.

## DE VOEDING

De gestandaardiseerde + 25 volt voedingsspanning van de modules wordt door middel van een voorschakelweerstand R1 en twee zenerdiodes (D1 en D2) van 9,2 volt gereduceerd tot 9 en 18 volt (zie figuur 4). Als we nu de IC's in de schakeling laten geloven, dat die spanning van 9 volt hun massa is, dan zullen



Figuur 4. De voedingsschakeling waarmee een kunstmatig massapunt gekreëerd wordt, halverwege de voedingsspanning.



ze de spanning van 18 volt interpreteren als een positieve voedingsspanning van + 9 volt en de massa als een negatieve voedingsspanning van - 9 volt. De IC's zijn erg goedgelovig, wat dit betreft. Als we alle punten die normaal naar massa gaan verbinden met de + 9 volt en alle punten die normaal naar de negatieve voedingsspanning gaan verbinden met de echte massa, dan vinden zij het best. Wel is voorwaarde, dat de spanning van + 9 volt goed ontkoppeld wordt. Dat wil zeggen dat de wisselstroomweerstand, die men meet tussen massa en de + 9 volt lijn, zo klein mogelijk moet zijn. De grote elko C2 zorgt hiervoor. Deze heeft dus niet alleen tot taak de voedingsspanning van + 9 volt ekstra af te vlakken. Dank zij de lage wisselspanningsweerstand van deze condensator zal het voor het signaal dat de schakeling doorloopt geen verschil uitmaken of nu de echte massa als dusdanig wordt gebruikt, of de voedingsspanning van + 9 volt. De elko sluit namelijk beide lijnen voor het signaal kort.

## DE SINUSGENERATOR

De sinusgenerator wekt het signaal op, waarmee de geluidskanalen worden gemoduleerd. Voor het verkrijgen van een goed tremolo-effekt is het namelijk beslist noodzakelijk, dat het moduleren met een sinusvormige spanning gebeurt. Een sinusspanning verloopt vloeiend, zodat ook het moduleren van het geluid zonder irritant ervaren schokken verloopt.

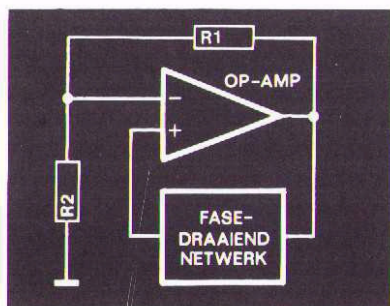
Nu is het opwekken van een sinus met zo'n lage frequentie niet zo eenvoudig te verwezenlijken met transistoren. Vandaar dat wij ook hier beroep hebben gedaan op een operationele versterker.

De basisschakeling van een sinusgenerator met een op-amp is getekend in figuur 5.

Tussen de uitgang en de twee ingangen zijn twee terugkoppelende kringen geschakeld. De versterking van de op-amp wordt ingesteld door een gedeelte van de uitgangsspanning terug te koppelen naar de negatieve ingang. Tussen de uitgang en de positieve ingang is een fasedraaiend netwerk geschakeld.

Zonder basiskennis van de theoretische elektriciteit is het erg moeilijk de werking van een sinusoscillator te doorgronden. Oppervlakkig uitgelegd kan men de werking van de trap als volgt verklaren.

Bij het aanschakelen van de voedingsspanning zullen



Figuur 5. Het principe van een sinus-oscillator. Een terugkoppelend netwerk zorgt voor een bepaalde versterking, een tweede voor de selectie van de gewenste frequentie.



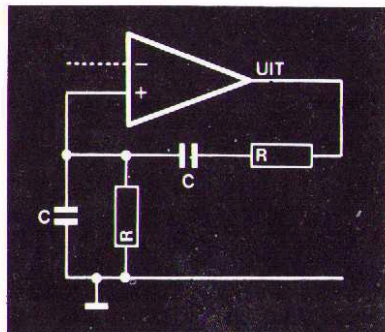
er allerlei signalen in de schakeling ontstaan. Denk daarbij vooral aan de ruis, die in iedere elektronische schakeling aanwezig is, omdat hij een onafscheidelijk bijverschijnsel is van het vloeien van stroom.

Ruis is samengesteld uit een heleboel signalen met allemaal verschillende frekwenties. Dat samengestelde ruissignaal verschijnt dus aan de uitgang van de versterker. De verschillende frekwenties worden teruggekoppeld naar de positieve ingang van de op-amp via het fasedraaiend netwerk. Een voorname eigenschap van dit netwerk is, dat het één frekwentie niet in fase zal draaien. Het netwerk bevoordeelt als het ware één signaal uit de ruis. Dit signaal wordt door de versterker versterkt en belandt op de uitgang. Daar telt het zich op bij de in de ruis aanwezige signalen met dezelfde frekwentie. Het gevolg is, dat op de uitgang een ruissignaal ontstaat, waarvan een deelsignaal (dat met de voorkeurfrekwentie van het netwerk) een grotere amplitude heeft dan men normaliter zou verwachten. Nu blijft het daar niet bij. Dit signaal wordt immers weer door het netwerk teruggekoppeld naar de positieve ingang, wordt weer door de versterker versterkt en vergroot dus weer eens die ene komponent in het ruissignaal.

Het resultaat zal duidelijk zijn: op de uitgang verschijnt slechts een fors signaal met de door het netwerk bepaalde frekwentie en ontelbare, kwa grootte volledig verwaarloosbare, andere signaaltjes die de ruis vormen.

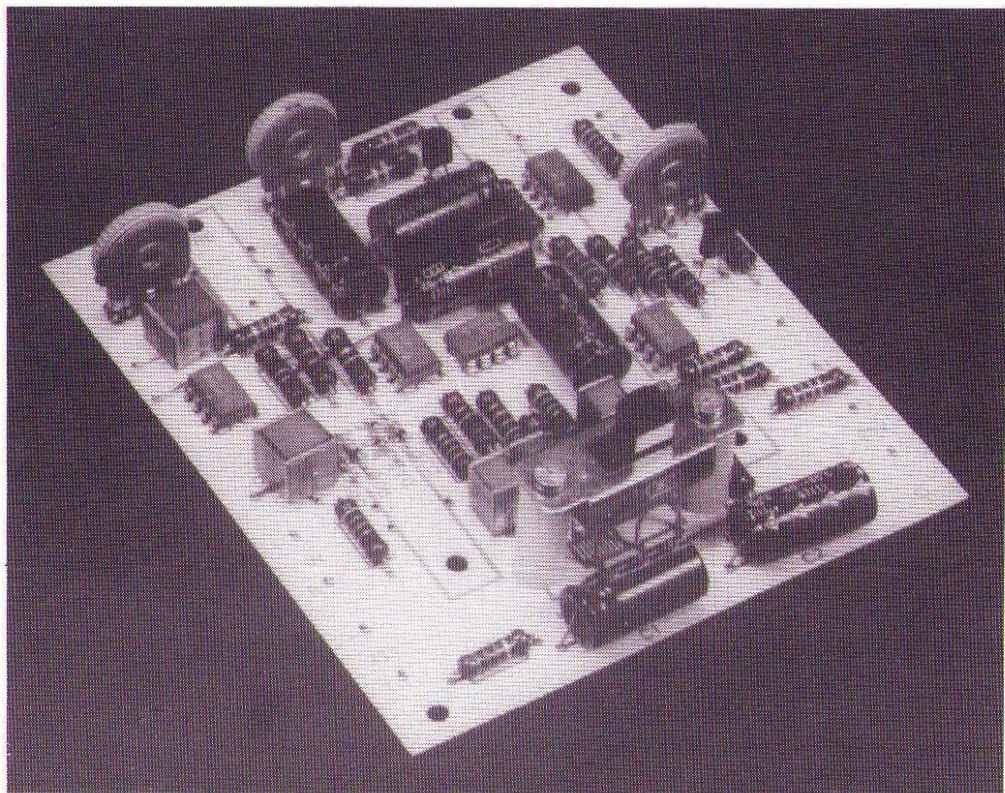
Het fasedraaiend netwerk is getekend in figuur 6. Het is opgebouwd uit twee even grote condensatoren en twee even grote weerstanden, die op de getekende manier geschakeld zijn tussen in- en uitgang van de op-amp. De bevoorrechte frekwentie is afhankelijk van de waarde van de verschillende onderdelen. Wel moeten de onderdelen steeds dezelfde waarde behouden. Wil men de frekwentie van de oscillator wijzigen, dan volstaat het bijvoorbeeld de twee weerstanden te vervangen door een stereopotmeter.

Het verhaal is hiermee helaas niet beëindigd. Uit figuur 6 volgt duidelijk, dat het netwerk een bepaalde verzwakking met zich meebrengt. De beide weerstanden vormen bijvoorbeeld een spanningsdelers. Ook de condensatoren zullen een gedeelte van het signaal consumeren. Zou men alleen maar dit netwerk tussen de uitgang van de op-amp en zijn positieve ingang



Figuur 6. Het selektief netwerk is opgebouwd uit twee weerstanden en twee condensatoren en wordt Wien-netwerk genoemd.





schakelen, dan zou er niets gebeuren. Het bevoorrechte signaal zou wel in gelijke fase aan de ingang verschijnen, maar zo verzwakt door het filter dat het niet in staat was zijn soortgenoot-signalen aan de uitgang van de versterker te vergroten. Vandaar dan ook, dat er een versterkings-instelling tussen uitgang en negatieve ingang nodig is. Die versterking wordt ingesteld door de waarde van de weerstanden R1 en R2 uit figuur 5.

Nou is de waarde van die versterkingsfaktor zeer kritisch. Als de versterking te klein is, dan zal deze versterking niet in staat zijn de door het netwerk geïntroduceerde verzwakking te compenseren. De generator zal dan niet werken. Is de versterking echter te groot, dan zal het bevoorrechte signaal overmoedig worden. Het zal dan zoveel versterkt worden, dat aan de uitgang van de op-amp geen mooie sinus ontstaat, maar iets dat veel lijkt op een blokgolf.

Het besluit is, dat de mate van versterking via de te-



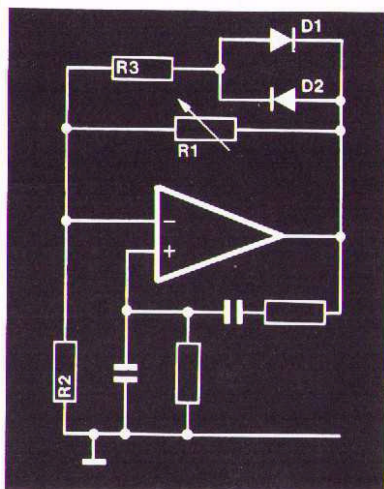
rugkoppeling naar de negatieve ingang precies zo groot moet zijn, als de mate van verzwakking van het fasedraaiend netwerk. Nou is het gewoon onmogelijk, de versterking bijvoorbeeld door middel van een potmetertje op die waarde in te stellen. Zelfs de miniemste afwijking van de juiste potmeterinstelling zal tot gevolg hebben, dat de sinus aan de uitgang ofwel uitsterft, ofwel vervormt tot een blok golf.

Er moet dus een of andere automatische versterkingsregeling ingebouwd worden.

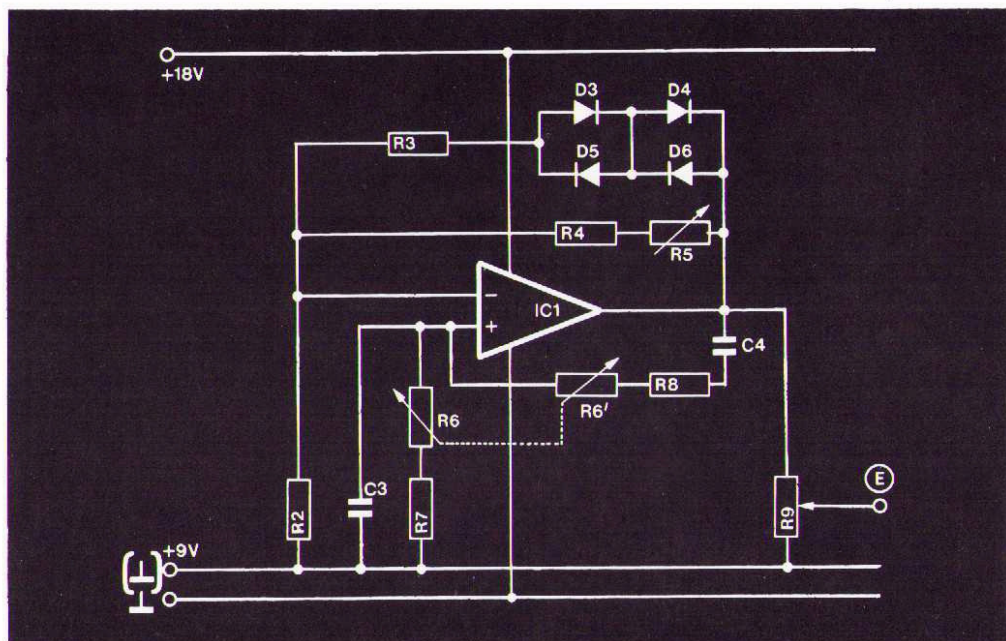
Hoe dit kan toont figuur 7. De weerstand R1 uit figuur 5 is vervangen door een instelpotmetertje. Over deze potmeter is een netwerkje geplaatst, bestaande uit de serieschakeling van een grote weerstand en twee diodes. De werking is als volgt. Stel, dat men de weerstand van de potmeter nul maakt. De versterking van de trap is dan gelijk aan een en de sinusspanning kan niet opgebouwd worden. Door het verdraaien van de looper van de potmeter neemt zijn weerstand, en dus ook de versterking van de trap, toe. Op een bepaald moment wordt de kritische versterkingsgrens overschreden en de schakeling zal op de beschreven manier een signaal op de uitgang opwekken. Men draait de potmeter nog even verder open. De versterking van de trap wordt dan te groot en aan de uitgang zou een vervormde sinus verschijnen, als men geen rekening zou houden met de functie van het ekstra weerstand-diode-netwerkje.

Kijk, zolang de spanning aan de uitgang van de op-amp kleiner is dan 0,7 volt, geleiden de diodes niet en staat de weerstand R3 erbij als pietje snot. Hij speelt dus niet mee en de versterking van de trap wordt alleen bepaald door de verhouding van de weerstanden R1 en R2. Als het signaal aan de uitgang groter wordt dan 0,7 volt, dan gaat een van de diodes geleiden, afhankelijk van de polariteit van de uitgangsspanning. De weerstand R3 wordt dan parallel geschakeld over de potmeter R1. De waarde van de weerstand tussen uitgang en ingang gaat dus dalen (de totale weerstand van twee parallel geschakelde weerstanden is steeds kleiner dan de kleinste der weerstanden). De versterking van de kring neemt af, de uitgangsspanning daalt. Op een bepaald moment is de grens van 0,7 volt bereikt en de diode gaat weerom sperren.

Door het invoeren van de combinatie R3-D1-D2 heeft



Figuur 7. Door middel van enige diodes en een weerstand wordt een automatische versterkingsregeling ingevoerd, die zorgt voor een onvervormde uitgangsspanning.



Figuur 8. Het praktische schema van de gebruikte sinusgenerator. De terugkoppellus voor het regelen van de versterking is nu opgebouwd door middel van vier diodes.

men dus een automatische versterkingsregeling verkrijgen, die ervoor zorgt dat op de uitgang een sinusspanning met een konstante amplitude verschijnt.

### DE PRAKTISCHE SCHAKELING

De praktische schakeling van de sinusgenerator is getekend in figuur 8. Men herkent daarin zonder meer de basisschakeling van figuur 7, voorzien van enige extra's die het leven veraangenamen.

Het faseverschuivend netwerk is opgebouwd uit de onderdelen C3, C4, R6, R7 en R8. De frekwentie is omgekeerd evenredig met de grootte van de condensatoren. De zeer lage frekwenties noodzaken het gebruik van zeer grote condensatoren: 1 mikro-farad. Dit mogen beslist geen elektrolytische condensatoren zijn. MKM-ekemplaren zijn aangewezen wegens hun kleine afmetingen. De frekwentie wordt gevarieerd door middel van de stereopotmeter R6. Een logaritmisch eksemplaar geeft de beste frekwentieverdeling over het volledige bereik.

De versterkingsterugkoppeling is opgebouwd uit de serieschakeling van een trimmer en een vaste weerstand. De automatische versterkingsregeling is samengesteld uit vier siliciumdiodes. Het voordeel van deze



kombinatie is, dat de uitgangsspanning een hogere waarde heeft.

De schakeling heeft het nadeel dat er een trimmer (R5) in zit, die dus afgeregeld moet worden. Op deze afregeling komen we in een later stadium terug.

De uitgang van de schakeling wordt rechtstreeks aangeboden aan een potmeter R9. Met deze potmeter kan de modulatie diepte ingesteld worden. Merk op, dat de uitgang van de op-amp zonder tussenschakeling van de gebruikelijke scheidingskondensator met de potmeter verbonden is. Dit kan niet anders. De zeer lage frekwentie zou een erg grote condensator noodzakelijk maken.

Merk verder op, dat de onderzijde van de potmeter niet verbonden is met de echte massa, maar met de kunstmatig gevormde massa, die op een gelijkspanningspotentiaal staat dat eksakt gelegen is tussen massa en de voedingsspanning.

## DE BUFFER

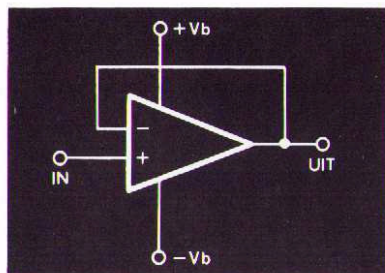
Tussen de ingang van de tremolo en de modulator moet een buffer komen, die de ingang een hoge ingangsimpedantie geeft en een lage uitgangsimpedantie levert aan de modulator. Ook deze schakeling is opgebouwd met een operationele versterker. De basisschakeling is getekend in figuur 9.

Behalve de reeds genoemde karakteristieke impedanties heeft deze schakeling nog een eigenschap. Het signaal aan de uitgang is gelijk aan het signaal aan de positieve ingang. De versterking is dus gelijk aan een. Deze eigenschap is het gemakkelijkst te verklaren. Zoals men weet heeft een op-amp als hoogste streven het gelijk maken van de spanningen aan zijn beide ingangen. In dit specifieke geval wordt de volledige uitgangsspanning teruggekoppeld naar de negatieve ingang. De negatieve ingang kan dus maar alleen gelijk zijn aan de positieve ingang, als de uitgang eksakt gelijk is aan de ingang van de schakeling.

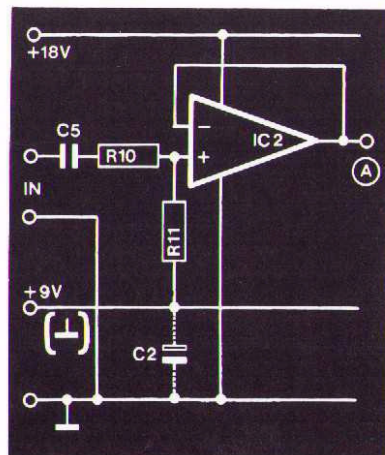
Hoe het komt dat de ingangsimpedantie zeer hoog en de uitgangsimpedantie zeer laag is, valt niet te verklaren zonder een grondige studie van de interne schakeling van de op-amp. Dit zou veel te ver voeren in het kader van dit boek.

De praktische schakeling van de buffer is getekend in figuur 10.

De ingangsspanning, afkomstig van de geluidsbron

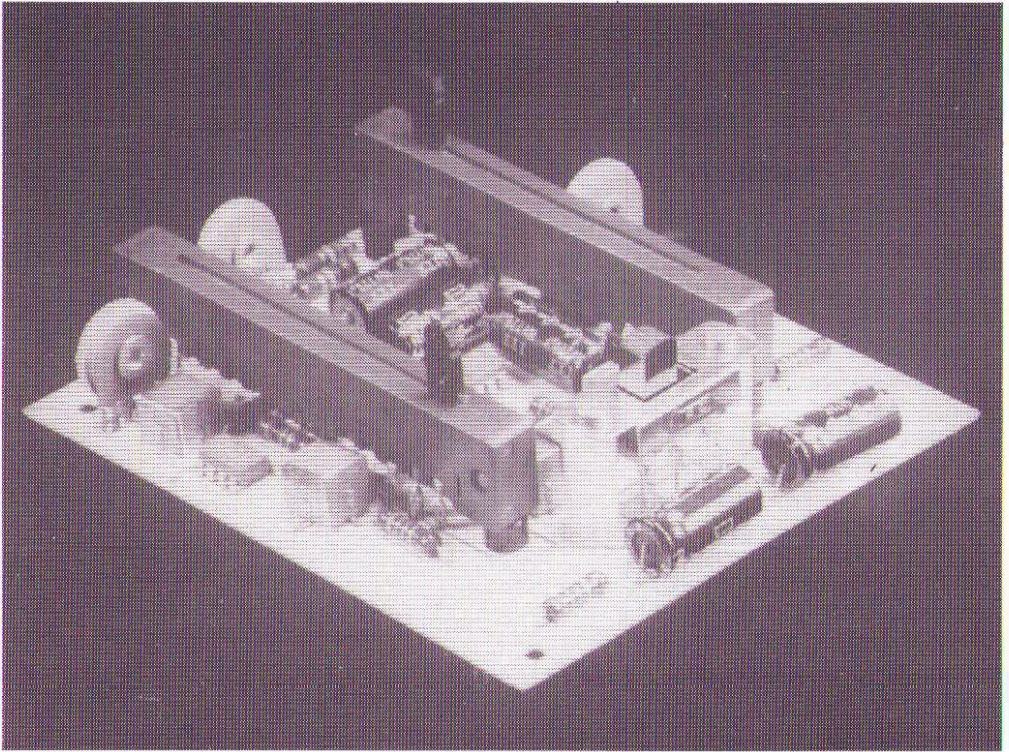


Figuur 9. De ingangsbuffer is een zogenaamde spanningsvolger, met een zeer hoge ingangs- en een zeer lage uitgangsimpedantie.



Figuur 10. Het praktische schema van de ingangsbuffer. Het ingangssignaal wordt verzwakt, zodat het met de juiste amplitude aan de modulator wordt aangeboden.





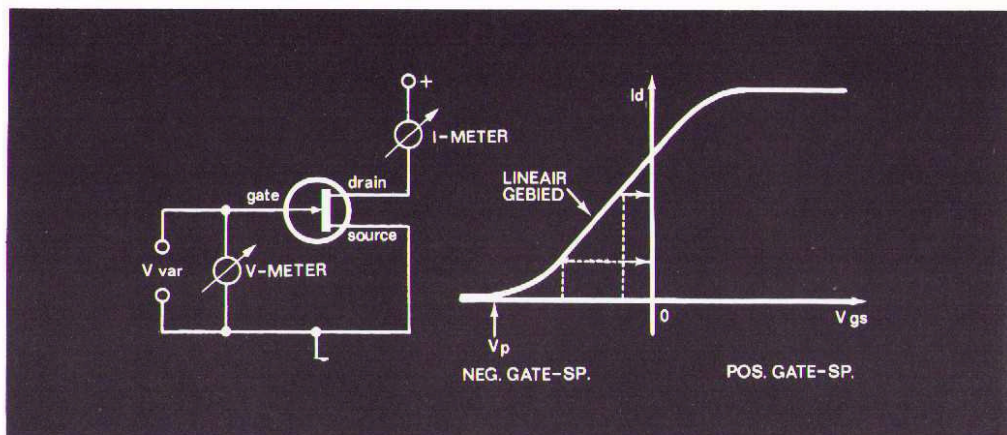
waarvan men het geluid met tremolo wil behandelen, wordt via een scheidingskondensator C5 en een spanningsdeler R10-R11 aan de positieve ingang van de op-amp toegevoerd. Deze spanningsdeler, die het ingangssignaal ongeveer 5 keer verzwakt, is nodig, omdat het signaal aan de ingang van de modulator niet te groot mag zijn.

Uit deze figuur blijkt zeer duidelijk, hoe het systeem met „valse massa” werkt. Het ingangssignaal wordt toegevoerd tussen het ingangspunt en de echte massa. Deze echte massa is echter door middel van de grote kondensator C2 in de voeding verbonden met de kunstmatige massa. De wisselstroomweerstand van die kondensator is echter verwaarloosbaar klein, zodat het signaal ook over de weerstand R11 staat. De spanning over deze weerstand is de ingangsspanning van de op-amp.

#### DE MODULATIE

De schakeling, die we ontwikkeld hebben voor het



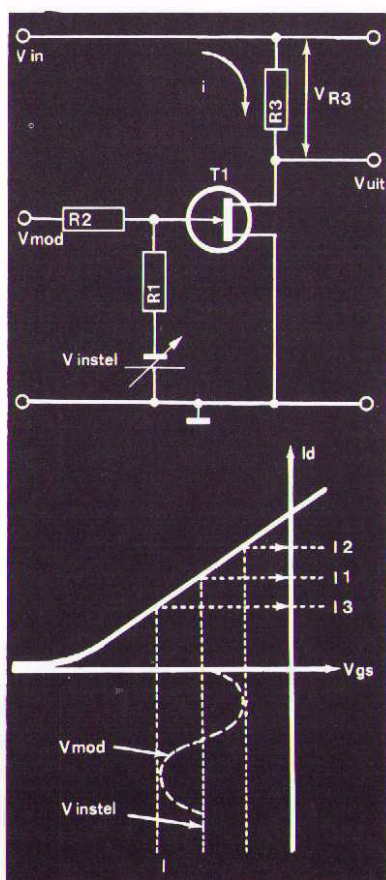


moduleren van het signaal, is opgebouwd uit een FET (veldeffekt transistor) en een op-amp.

In de inleiding is reeds gezegd, dat de werking van een tremolo vergeleken kan worden met het verdraaien van een volumepotmeter, met andere woorden met het variëren van een weerstand. Dit is precies wat we ook bij de elektronische schakeling doen: we variëren de weerstand van een element op een elektronische manier.

Een onderdeel dat zich zeer leent voor zo'n elektronische weerstandsvariatie is de FET. In figuur 11 is de voor onze toepassing belangrijke eigenschap van zo'n FET getekend. Als we een stroommeter in serie met de drain leiding opnemen, en we meten de stroom die door de FET vloeit als we de spanning tussen gate en source variëren, dan stellen we het volgende vast. Als de gate-spanning erg negatief is ten opzichte van de source, dan meten we geen stroom. Maken we de spanning minder negatief, dan zal er op een bepaald ogenblik een kleine stroom door de FET gaan lopen. Deze spanning  $V_p$  noemen we de afknijpspanning van de halfgeleider. Als we de spanning op de gate verder verhogen, dan stellen we vast dat de stroom door de FET steeds meer toeneemt. In het begin verloopt deze stijging niet lineair. Dat wil zeggen dat, als we de spanning op de gate telkens met eenzelfde bedragje veranderen, de stroom door de halfgeleider niet steeds met eenzelfde bedrag toeneemt. Dit gebied is het niet-lineaire gedeelte van de karakteristiek. Als de gate-spanning de spanning op de source nog meer benadert, dan zal de stroom door de

Figuur 11. Enige theorie over de FET. De stroom door de halfgeleider blijkt op een zeer bepaalde manier afhankelijk te zijn van de spanning tussen gate en source.



Figuur 12. Het moduleren van de ingangsspanning ontstaat door de variatie van de stroom door de FET.

FET wel lineair toenemen. Dit gebied is het lineaire gedeelte van de karakteristiek.

Op een bepaald ogenblik is de gate-spanning nul, dus gelijk aan de source-spanning. We zetten het experiment verder, maar maken nu de gate-spanning positief ten opzichte van de source. De stroom blijft lineair toenemen. Bij een bepaalde spanning zal de stroom niet meer zo driftig gaan stijgen en bij nog grotere spanning op de gate stellen we zelfs vast, dat de stroom door de FET ongeveer konstant blijft.

Uit dit experiment kan men besluiten dat er een bepaald gebied is in de gate-source spanning, waarbij de stroom door de FET lineair verloopt met deze spanning. In dit gebied gedraagt de FET zich als een weerstand, waarvan de waarde te variëren is door de spanning tussen gate en source te veranderen. In principe is het dus mogelijk een spanning te moduleren met het schema van figuur 12. De ingangsspanning, waarvan de amplitude gemoduleerd moet worden, is aangesloten op de serieschakeling van een weerstand R3 en een FET T1. De uitgang wordt afgetakt tussen de weerstand en de FET.

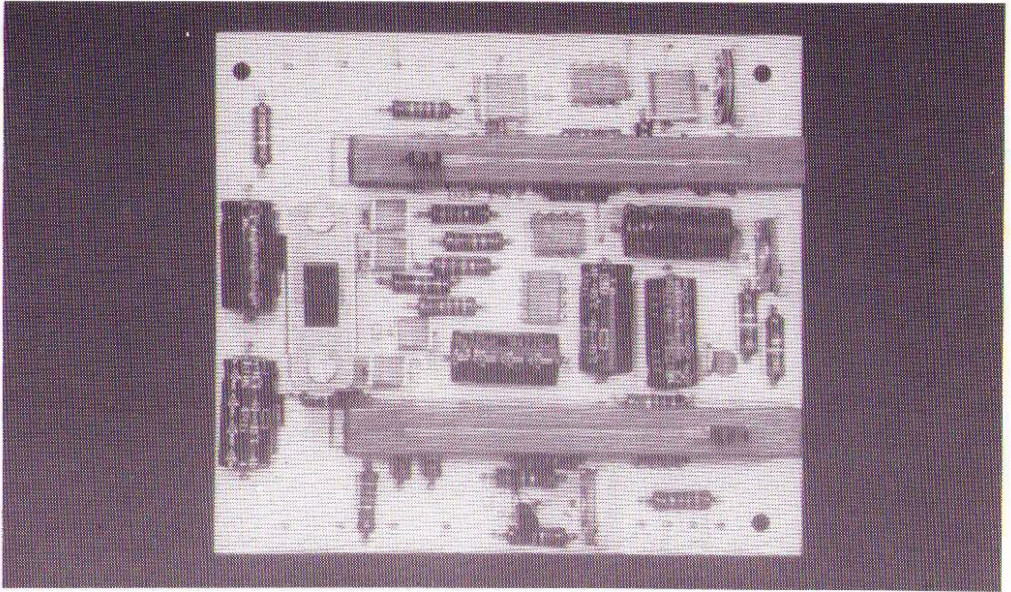
Aan de gate van de halfgeleider worden twee spanningen gelegd: de modulatiespanning  $V_{mod}$  en een instelspanning  $V_{instel}$ . Beide spanningen worden door middel van weerstanden R2 en R1 van elkaar gescheiden. De instelspanning, een gelijkspanning, wordt nu zo geregeld, dat de FET in het midden van zijn lineair gebied is ingesteld.

Uit de grafiek volgt, dat de stroom door de halfgeleider in dat geval gelijk is aan  $I_1$ . Deze stroom vloeit uiteraard eveneens door de voorschakelweerstand R3 en veroorzaakt over deze weerstand een bepaalde spanningsval. De uitgangsspanning is dan gelijk aan de ingangsspanning, minus de spanningsval over de weerstand R3.

De laagfrequentie modulatiespanning, die via de weerstand R2 aan de gate van de FET wordt gelegd, zal tot gevolg hebben dat de gatespanning varieert rond de instelspanning. Uiteraard zal dan ook de stroom door de halfgeleider schommelen, en wel op het ritme van en lineair met de modulatiespanning. Deze variërende stroom heeft tot gevolg, dat de spanningsval over de weerstand R3 eveneens schommelt in hetzelfde ritme.

Besluit: de grootte van de uitgangsspanning zal vari-

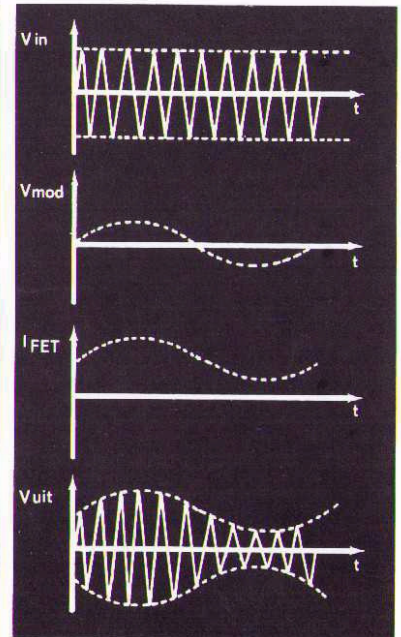




eren op het ritme van de modulatiespanning. De werking van de schakeling is nog eens grafisch voorgesteld in figuur 13.

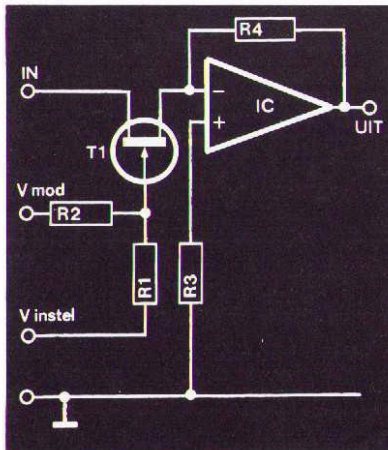
Deze eenvoudige schakeling heeft echter een groot nadeel. Het lineaire verband tussen gate-spanning en stroom door de FET gaat alleen op, als de spanning over de FET (de spanning tussen drain en source) erg klein is. Als deingangsspanning groter is dan enige honderden milli-volt, dan gaat dit lineaire verband verloren en ontstaan vervormingen op de uitgangsspanning.

De FET moet dus gestuurd worden met erg kleine signalen en dit kan alleen als de halfgeleider wordt opgenomen in een versterkingssysteem. Dat is geschetst in figuur 14. Een operationele versterker is geschakeld als inverterende versterker. De versterking van zo'n trap wordt bepaald door de verhouding van de weerstanden tussen ingang en negatieve input van de op-amp en tussen de uitgang en dezelfde input. Uit het schema blijkt, dat een van die weerstanden is vervangen door een FET. Als nu deze halfgeleider in zijn lineaire gebied wordt ingesteld en de spanning wordt gevarieerd, dan zal de FET als variabele weerstand werken en de versterking van de op-amp schakeling beïnvloeden. De uitgangsspanning van de schakeling



Figuur 13. De spanningvormen op de verschillende punten van de schakeling van figuur 12.





Figuur 14. Het principe van amplitude-modulatie door middel van een FET in de terugkoppellus van een operationele versterker.

zal dus variëren op het ritme van het modulatiesignaal.

### DE PRAKTISCHE SCHAKELING

De gebruikte schakeling van de modulator is getekend in figuur 15. De ingang van de schakeling wordt aangesloten op de uitgang van de buffer, met tussenschakeling van twee in serie geschakelde elko's. Deze condensatoren spelen de rol van de gebruikelijke scheidingscondensator tussen twee trappen. Omdat de ingangsimpedantie van de modulator erg laag is, moet de scheidingscondensator erg groot zijn. Men moet dus een elko gebruiken. Een elko is, zoals men weet, gepolariseerd, dat wil zeggen dat hij een aansluiting heeft die positief moet zijn en een aansluiting die negatief moet zijn. De spanning op punt A kan echter zowel positief als negatief worden ten opzichte van het kunstmatige massapunt. Vandaar dat twee elko's in serie worden geschakeld, met de min aan de min.

De instelspanning van de FET wordt afgetapt van de looper van de potmeter R14, geschakeld tussen positieve en negatieve voedingsspanning. Deze instelling is het enige kwalijke punt van de schakeling. Bij de fabricage van FET's heeft men de ligging van het lineaire gebied niet goed in de hand. Er kunnen dus, zelfs bij FET's van hetzelfde type en in dezelfde procesgang vervaardigd, grote afwijkingen voorkomen. Vandaar dat iedere FET individueel ingesteld moet worden door middel van de potmeter.

De modulatiespanning wordt via de hoge weerstand R12 gemengd met de instelspanning. De beide grote weerstanden R12 en R13 vormen in feite een resistieve menger, die het instelpotentiaal mengt met de sinus van de modulatiespanning.

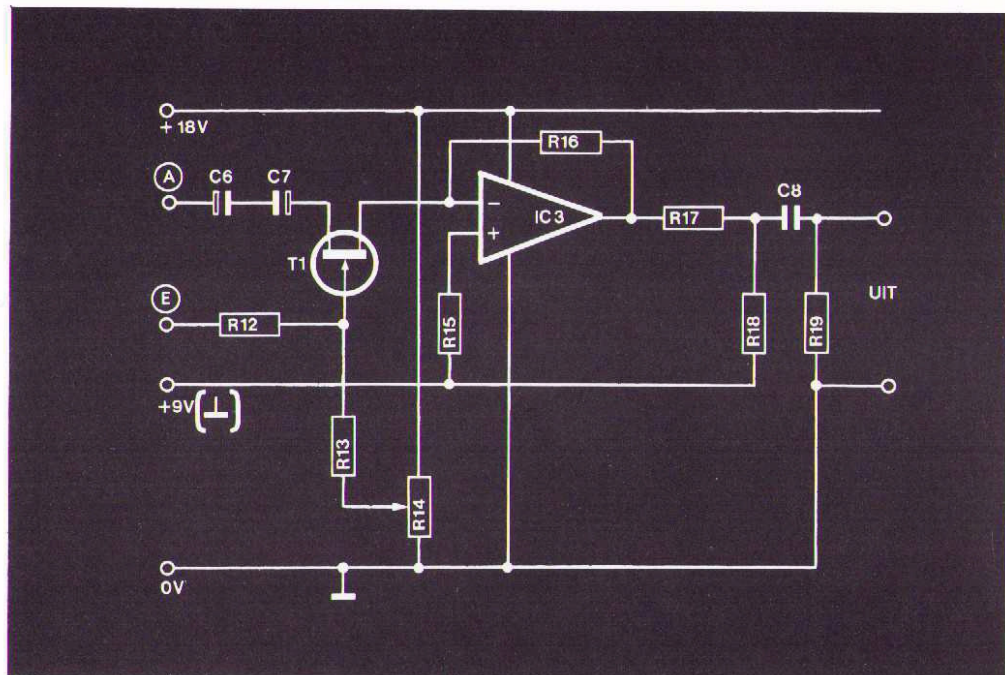
De uitgang van de operationele versterker wordt door middel van de spanningsdeler R17 en R18 zo verzwakt, dat het nivo aan de uitgang gelijk is aan de spanning op de ingang. Het moduul heeft dus een versterking van een, hetgeen zonder meer een noodzaak is.

Het netwerkje C8-R19 biedt het getremoloseerde muzieksignaal aan aan de volgende schakeling.

### HET VOLLEDIGE SCHEMA

Het volledige schema van de „Tremolo in moduul-techniek” is getekend in figuur 16. Het schema is



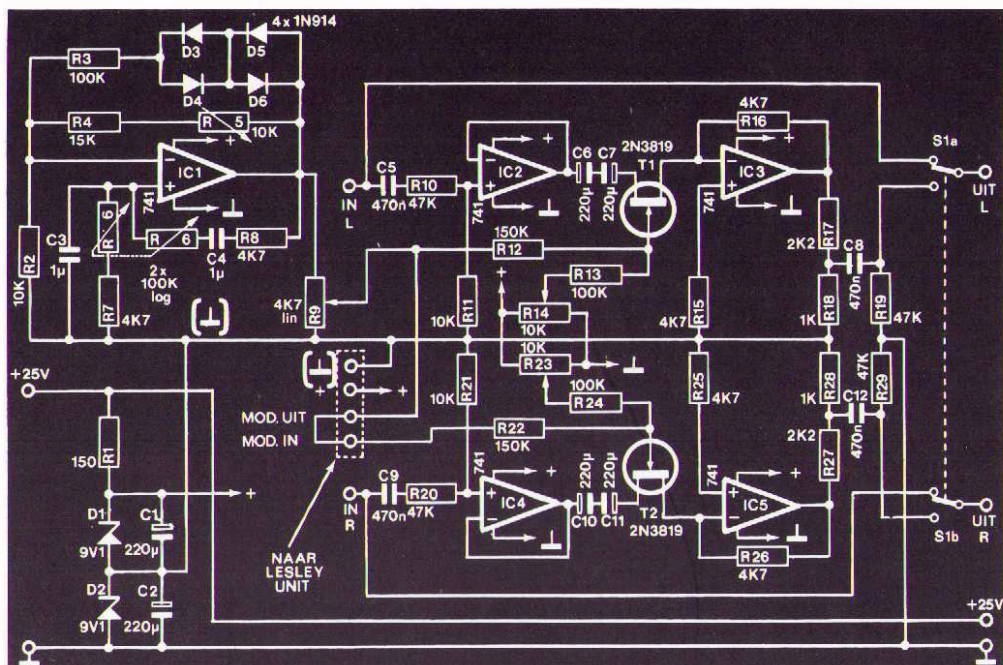


uiteraard dubbel uitgevoerd, omdat we het moduul willen opnemen in een stereo-keten.

Een opmerking: de uitgang van de modulatiepomp wordt rechtstreeks de linker modulator. De rechter modulator wordt echter door middel van een draadbruggetje met de potmeter verbonden. Dit is noodzakelijk als men de tremolo-unit wil uitbreiden tot een elektronische lesley. De rechter modulator wordt dan met een signaal gestuurd, dat afgeleid wordt uit de modulatiespanning. Vandaar dat beide punten naar soldeerlipjes aan de rand van de print gevoerd worden, evenals de positieve voedingsspanning en het kunstmatige massapunt.

Door middel van een dubbele omschakelaar S1 kan de volledige schakeling overbrugd worden. De ingang van het moduul wordt dan rechtstreeks verbonden met de uitgang. Hoewel het natuurlijk ook mogelijk is de tremolo op non-aktief te zetten door het dichtdraaien van de modulatiepotmeter, is het zonder meer beter de tremolo te overbruggen, als men er geen behoefte aan heeft. Iedere elektronische schakeling wekt immers een bepaalde vervorming op, en hoe minder vervorming in een keten, hoe beter.

Figuur 15. Het praktische schema van de modulator. De gemoduleerde uitgangsspanning wordt door middel van een spanningsdeler afgenomen van de uitgang van het IC.



Figuur 16. Het volledige schema van de tremolo in moduultechniek.

## DE BOUW

De print van de schakeling is getekend in figuur 17. De grootte van de print wordt verklaard door het feit dat alle onderdelen erop zitten, dus ook de aan-uitschakelaar en de potmeters. Uiteraard zijn schuifpotmeters gebruikt. Een deel van de print gaat verloren voor de schakeling, omdat een heleboel verbindingen van de in- naar de uitgang noodzakelijk zijn. Deze konstruktie heeft natuurlijk wel het voordeel, dat de bouw zeer eenvoudig wordt en de print door middel van zeer korte draadjes verbonden kan worden met de overige modulen.

De bestukking van de print is getekend in figuur 18. Uit deze figuur volgt, dat een aantal onderdelen onder de schuifpotmeters gesitueerd zijn. Dat kan zonder meer, want deze laatste onderdelen kunnen toch niet vlak op de print gemonteerd worden, daar de instelpotmetertjes hoger zijn dan het lichaam van de schuifpotmeters. Er zijn verschillende soorten schuifpotmeters in de handel. De merken AB, Radiohm en Preh zijn gestandaardiseerd en kunnen dus door elkaar gebruikt worden.

Bij de bouw moet op enige dingen gelet worden. Bij



## ONDERDELENLIJST

### WEERSTANDEN:

R 1 = 150 ohm, 1/4 watt  
R 2 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 3 = 100 k-ohm, 1/4 watt  
R 4 = 15 k-ohm, 1/4 watt  
R 5 = 10 k-ohm, trimmer  
staand 10 x 5 mm  
R 6 = 100 k-ohm, schuifpot  
stereo log  
R 7 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 8 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 9 = 4,7 k-ohm, schuifpot  
mono lin  
R 10 = 47 k-ohm, 1/4 watt  
R 11 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 12 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 13 = 100 k-ohm, 1/4 watt  
R 14 = 10 k-ohm, trimmer  
staand 10 x 5 mm  
R 15 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 16 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 17 = 2,2 k-ohm, 1/4 watt  
R 18 = 1 k-ohm, 1/4 watt  
R 19 = 47 k-ohm, 1/4 watt

R 20 = 47 k-ohm, 1/4 watt  
R 21 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 22 = 150 k-ohm, 1/4 watt  
R 23 = 10 k-ohm, trimmer  
staand 10 x 5 mm  
R 24 = 100 k-ohm, 1/4 watt  
R 25 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 26 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 27 = 2,2 k-ohm, 1/4 watt  
R 28 = 1 k-ohm, 1/4 watt  
R 29 = 47 k-ohm, 1/4 watt

### KONDENSATOREN:

C 1 = 220 uF, 16 V liggend  
C 2 = 220 uF, 16 V liggend  
C 3 = 1 uF, MKM  
C 4 = 1 uF, MKM  
C 5 = 470 nF, MKM  
C 6 = 220 uF, 16 V liggend  
C 7 = 220 uF, 16 V liggend  
C 8 = 470 nF, MKM  
C 9 = 470 nF, MKM  
C 10 = 220 uF, 16 V liggend  
C 11 = 220 uF, 16 V liggend  
C 12 = 470 nF, MKM

### HALFGELEIDERS:

D 1 = 9V1 1 W zener  
D 2 = 9V1 1 W zener  
D 3 = 1 N 914  
D 4 = 1 N 914  
D 5 = 1 N 914  
D 6 = 1 N 914  
T 1 = 2 N 3819  
T 2 = 2 N 3819  
IC 1 = 741, minidil  
IC 2 = 741, minidil  
IC 3 = 741, minidil  
IC 4 = 741, minidil  
IC 5 = 741, minidil

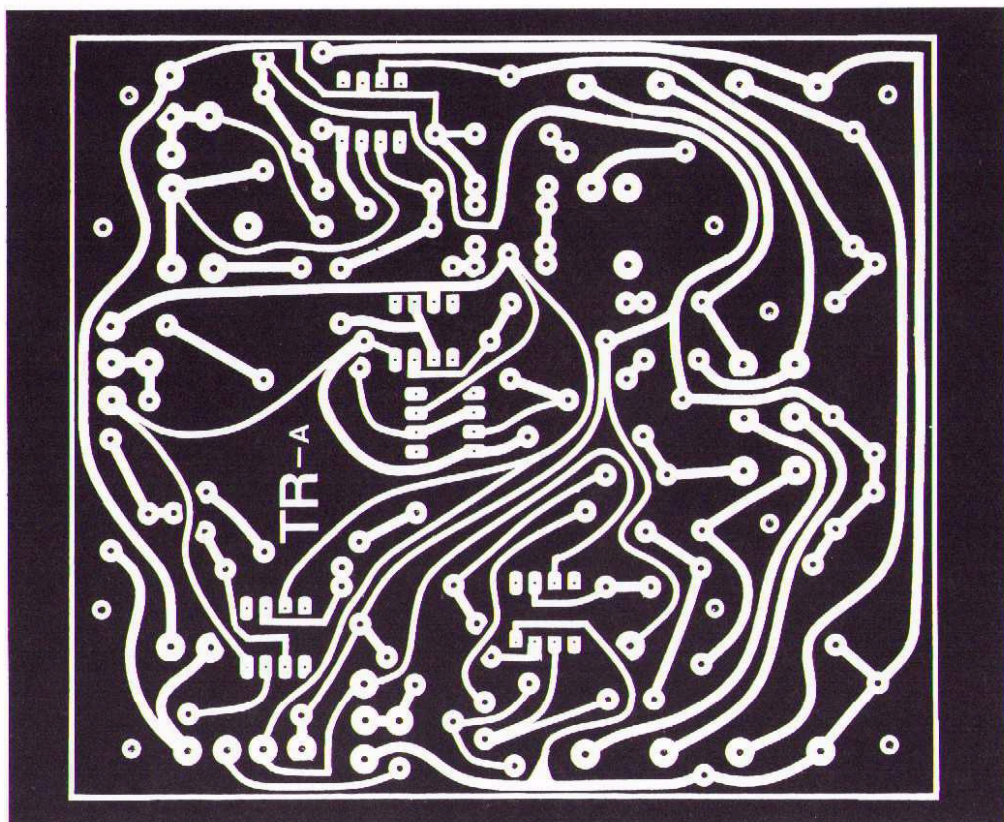
### DIVERSEN:

S 1 = dubbelpolige omschake-  
laar, groot schuifmodel  
1 x print TR-a  
1 x frontje FP-TR-a  
12 x printsoldeerlipjes  
4 x 5 mm afstandsbusjes  
6 x 20 mm afstandsbusjes  
4 x M 3 x 10 schroeven  
6 x M 3 x 30 schroeven  
14 x M 3 moertjes

de montage van de vijf IC's moet goed op de positie van de identifikatienokjes gelet worden. De stereo-potmeter kan op twee manieren gemonteerd worden; uiteraard is slechts een methode goed. Alle merken hebben een zevende aansluiting, die verbonden moet worden met de massa en intern een afscherming vormt tussen de beide helften van de potmeter. Deze aansluiting komt aan de bovenzijde van de print.

De montage begint met het solderen van de 12 soldeerlipjes voor de verschillende in- en uitgangen aan de koperzijde van de print. Dan komen de drie noodzakelijke draadbruggen aan de beurt. Daarna worden alle weerstanden en condensatoren gesoldeerd, waarbij men moet letten op de polariteit van de elko's. Vervolgens komen de halfgeleiders aan de beurt. De FET's zitten in een plastic huisje en hebben een afgeplatte kant. Uit figuur 18 volgt de positie van deze onderdelen.

Aan de aansluitlipjes van de potmeters worden vervolgens kleine draadjes gesoldeerd, bijvoorbeeld de afgeknipte draadjes van de weerstanden. Deze draadjes worden door de bijbehorende gaatjes in de print gestoken, en de potmeters kunnen door middel van



Figuur 17. De print TR-a voor de tremolo in moduultechniek.

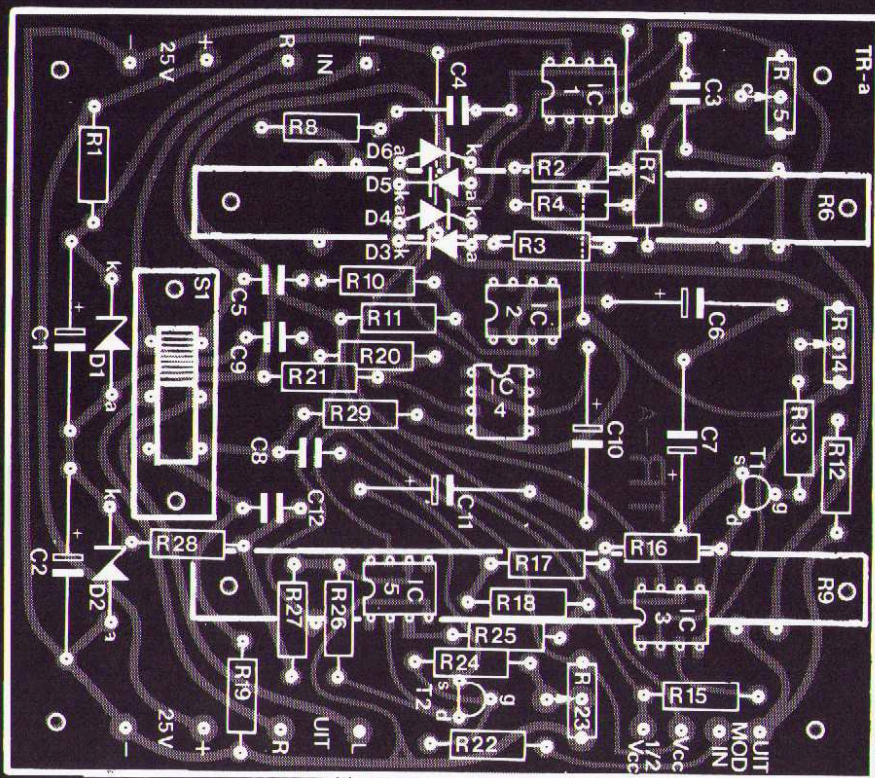
M3-boutjes en afstandsbusjes van 5 mm op de print geschroefd worden. De lichamen van de potmeters zijn voorzien van gaten met M3-schroefdraad, dus die montage gaat erg eenvoudig. AB en Preh verlangen schroefjes van 10 mm, Radiohm is alleen tevreden met schroeven van 20 mm lengte.

De montage van de aan-uit-schakelaar gaat op de zelfde manier. Ook hier dus zes draadjes aan de lipjes solderen en nadien de schakelaar op de print schroeven met tussenvoeging van afstandsbusjes van 20 mm. Tenslotte kan men het printje samenschroeven met het door de uitgever van dit boek leverbare frontje FP-TR-a, waarbij de onderlinge afstand van 22 millimeter wordt samengesteld door een 20 mm afstandsbusje en een M3-moertje.

#### HET GEBRUIK

Het moduul wordt verbonden met een voedingsspan-

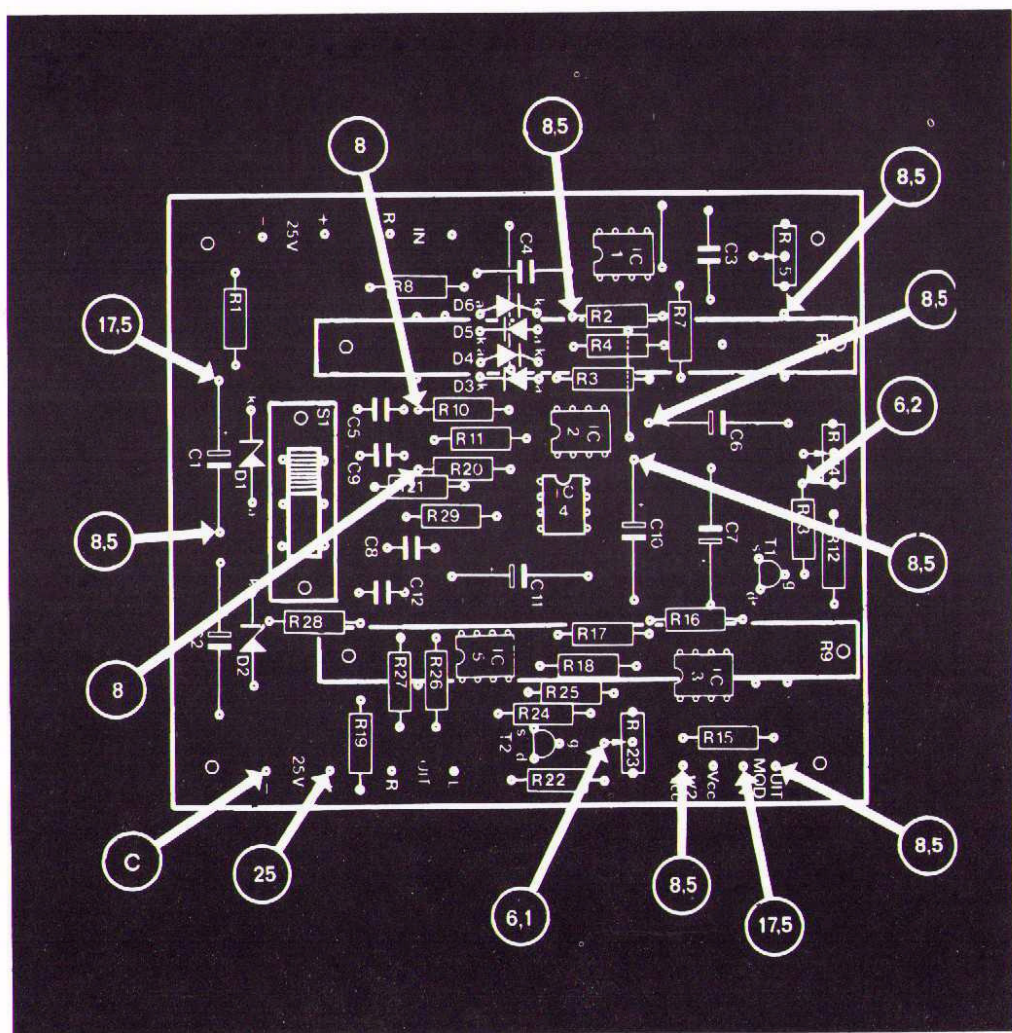




Figuur 18. De bestukkingstekening van de print. Denk aan de 4 draadbruggetjes!

ning van + 25 volt. De frekwentiepotmeter wordt in de hoogste stand gedraaid, evenals de modulatieregeelaar (100%). Een op wisselspanning geschakelde universeelmeter wordt nu tussen de aansluitlipjes „mod uit” en „+ 9 volt” geschakeld. De potmeter in de terugkoppellus van de sinusgenerator wordt verdraaid, tot de meter een spanning van 4 volt aanwijst. De generator levert dan een mooie sinus.

Het instellen van het werkpunt van de FET's kan het eenvoudigst met een muzieksignaal aan de ingang. Dit signaal kan afkomstig zijn van een rekorder of een tuner. De modulatie diepteregeelaar wordt nu ingesteld op 0%. De trimmers worden nu zo afgeregeld, dat het signaal aan de uitgang van het moduul even luid klinkt met ingeschakelde tremolo als met uitgeschakelde tremolo. Door middel van de schuifschakelaar kan snel van de ene toestand naar de andere omgeschakeld worden.



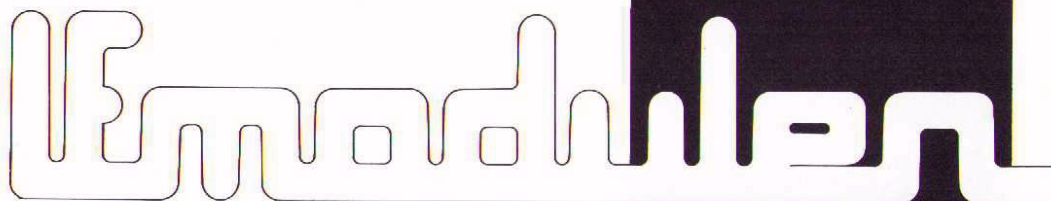
Figuur 19. De spanningsplattegrond van de tremolo in moduultechniek.

Het moduul is nu klaar voor gebruik. Als de tremolo zonder lesley gebruikt wordt, moeten de lipjes „mod uit” en „mod in” doorverbonden worden.

Als het moduul onverhoopt niet mocht werken, dan kan aan de hand van de spanningsplattegrond van figuur 19 nagegaan worden waar de fout in de bestuiking zit. Alle spanningen zijn gemeten met een op gelijkspanning geschakelde universeelmeter met een gevoeligheid van 20.000 ohm per volt. De modulatiepotmeter staat op 100%, de frekwentie is ingesteld op 30 hertz. Er ligt geen signaal aan de ingang.



# lesley



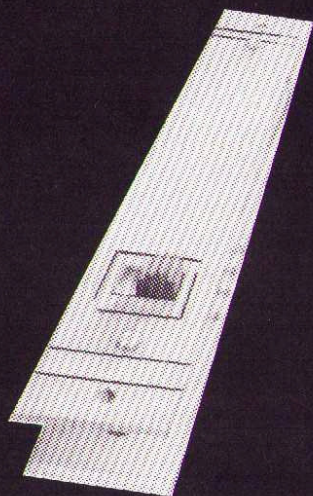
Bij de bespreking van de tremolo in het vorige hoofdstuk, beloofden wij U dat deze unit zeer eenvoudig uit te breiden is tot een elektronische lesley.

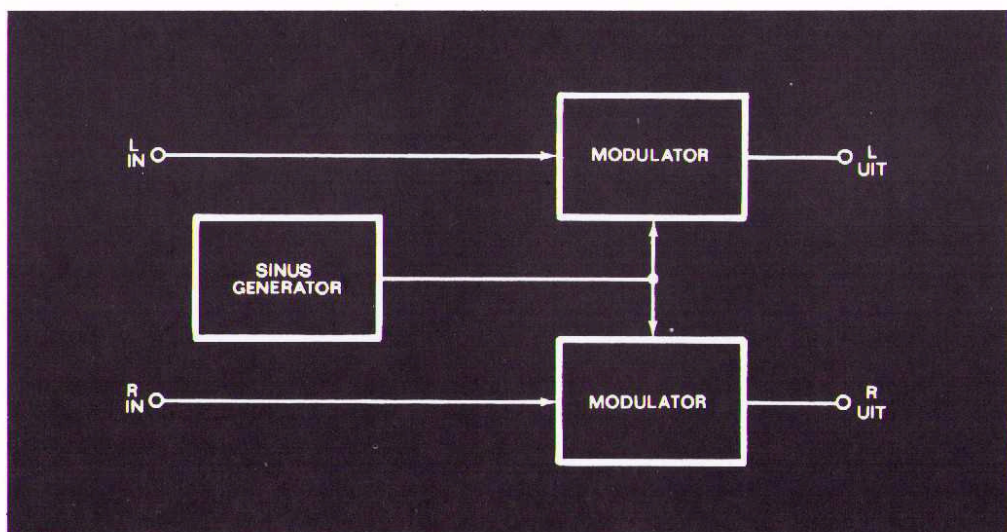
In dit hoofdstuk houden we die belofte. De uitbreiding tot elektronische lesley heeft niet meer dan vier elektronische onderdelen nodig!

Die vier onderdelen zitten op een smal printje, dat probleemloos met de bestaande tremolo samengebouwd kan worden. Het volstaat de aansluitlipjes „mod uit“, „mod in“, „Vcc“ en „1/2 Vcc“ van de tremolo-print door te verbinden met de gelijknamige aansluitpunten van de lesley-print. Bij deze laatste print staan die aansluitingen bovendien op dezelfde plaats, zodat vier 2 centimeter lange draadjes volstaan.

De gekozen opzet heeft wel een groot nadeel. De lesley-print is een uitbreidingsprint voor de tremolo. De schakeling is niet op zichzelf bruikbaar. Geen lesley zonder tremolo, dus.

De uitbreidingsprint is voorzien van een omschakelaar, waarmee men het geluidseffekt kan omschakelen tussen tremolo en lesley. In het laatste geval blijven de potentiometers op de tremolo-print actief. Met andere woorden: met de frekwentie instelling van de tremolo wordt nu de snelheid van het lesley-effekt geregeld. De intensiteit van het „roteren“ van het geluid wordt aangepast aan de wensen van de gebruiker door het verschuiven van de modulatiepotmeter op de print van de tremolo. Ook de in-uit schakelaar op de tremolo-print blijft actief.





Figuur 1. Hier wordt, ter opfrissing van het geheugen, weer het principiële schema van een tremolo getekend.

## LESLEY

Zoals in het vorige hoofdstuk gesteld, is tremolo het snel wijzigen van het volume van de beide kanalen van een stereo geluidssignaal. Tremolo kan dus vergeleken worden met het snel heen en weer draaien van de volume-potmeter van een versterker.

Lesley is iets dergelijks, alleen kan men het effect het best vergelijken met het snel heen en weer draaien van de balans-potmeter op een versterker. Met andere woorden: terwijl het volume van het linker kanaal minder wordt, zal het volume van het rechter kanaal vermeerderen en omgekeerd.

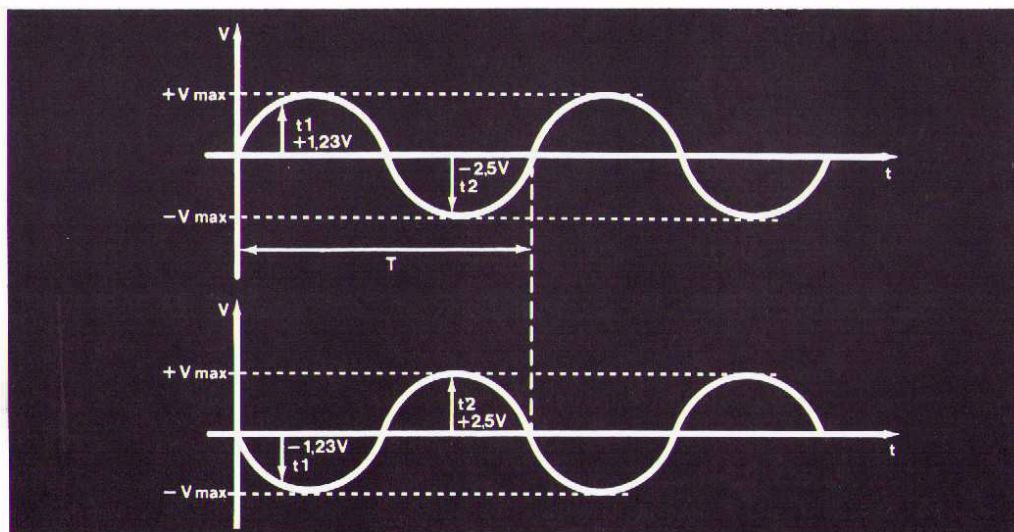
Ook nu wordt het beste effect verkregen, als die variatie met een ritme van ongeveer 10 hertz gebeurt.

## HET PRINCIPE

Alvorens het elektronische principe van lesley-opwekking uit te leggen, zullen we even heel in het kort het principe van elektronische tremolo herhalen. Het blokschema is getekend in figuur 1.

Een tremolo bestaat uit een sinusgenerator, die een frekwentie tussen 1 en 30 hertz opwekt. Het uitgangssignaal van die generator stuurt twee modulatoren, die in de ketens van het rechter- en linker-geluidssignaal geschakeld zijn. Die modulatoren zijn elektronische potmeters, die het volume van het signaal variëren op het ritme van de sinusspanning van de generator. Als de sinusspanning maximaal wordt, dan is



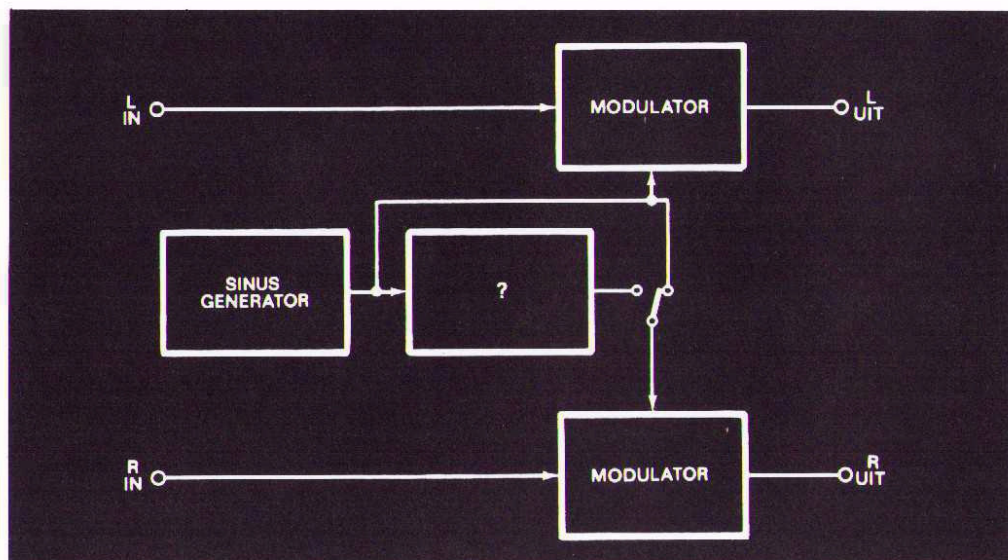


ook de verzwakking van de elektronische potmeters maximaal. Als de grootte van de sinus minimaal is (wat in feite wil zeggen maximaal negatief), dan zal de verzwakking van de elektronische potmeters ook minimaal zijn.

Uit het principe van de elektronische lesley volgt, dat de beide kanalen in dat geval niet door een en hetzelfde sinussignaal gestuurd kunnen worden. Immers, als de verzwakking van de ene elektronische potmeter maximaal is, moet de verzwakking van de andere potmeter juist minimaal zijn, en omgekeerd. Daar de verzwakking afhankelijk is van de grootte van de modulatie-sinus, is het logisch dat we op een of andere manier die grootte moeten beïnvloeden.

Met andere woorden: we moeten uit de modulatie-sinus een tweede sinus afleiden, met dezelfde frequentie en ook wel dezelfde gemiddelde grootte, maar het verloop van die sinusgolf moet tegengesteld zijn aan het verloop van de basis-sinus. Als die maximaal positief is, dan moet de afgeleide sinus maximaal negatief zijn. In figuur 2 wordt duidelijk gemaakt, hoe de beide sinussen zich onderling moeten verhouden. De absolute waarden  $+V_m$  en  $-V_m$ , waartussen de sinussen variëren, en ook de tijdsduur  $T$  van een sinuskurve moeten gelijk blijven, maar op ieder willekeurig ogenblik  $t$  moet de momentele grootte van de spanning van de tweede sinus precies het tegengestelde zijn van de momentele grootte van

Figuur 2. In deze figuur wordt een sinus-spanning vergeleken met die spanning, die we nodig hebben voor het sturen van de lesley-unit. Deze spanning is precies het spiegelbeeld of inverse van de moeder-sinus.



Figuur 3. Door middel van deze schakelwijze kan men een systeem opbouwen, dat door middel van een schakelaar omschakelbaar is tussen tremolo en lesley.

de eerste sinus.

Enige voorbeeldjes ter verduidelijking.

Als op tijdstip  $t_1$  (zie figuur 2) de basis-sinus een grootte van + 1,23 volt heeft, dan moet de afgeleide sinus precies - 1,23 volt groot zijn.

Als even later op tijdstip  $t_2$  de basis-sinus - 2,5 volt is, dan moet de afgeleide sinus + 2,5 volt zijn.

Het principe van lesley is nu duidelijk. Een van de modulatoren stuurt men, net zoals dan het geval is bij tremolo, met de uitgangsspanning van de sinusgenerator.

Tussen die generator en de modulator van het andere geluidskanaal wordt nu echter een schakeling geschakeld, die de uitgangsspanning van de sinusgenerator omvormt tot een spiegelbeeld-sigitaal, zoals geschetst in figuur 2.

Wil men de schakeling omschakelbaar maken tussen tremolo en lesley, dan volstaat het een omschakelaartje op te nemen aan de ingang van de modulator van het tweede kanaal. Dat is getekend in figuur 3. Door middel van die schakelaar kan men de tweede modulator sturen met de uitgangsspanning van de sinusgenerator (tremolo) of met de uitgangsspanning van de extra schakeling (lesley).

Wat dus op de extra print moet komen is allereerst die geheimzinnige schakeling, die de uitgangsspanning van de sinusgenerator omvormt in een spiegelbeeld-



signaal en bovendien de omschakelaar, waarmee men kan kiezen tussen tremolo en lesley.

## DE $-1$ VERSTERKER

Een schakeling, die wel de amplitude (de maximale waarde) van een signaal onaangeroerd laat, maar de momentele waarde omkeert (dus van een positieve spanning een even grote negatieve spanning maakt), noemt men een  $-1$  versterker. Dat is een logische benaming, want de spanningsversterking van zo'n trap is inderdaad gelijk aan een, maar wel wordt de polariteit van het signaal omgekeerd (vandaar het min-teken).

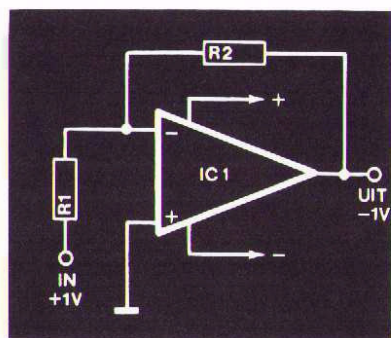
Met transistoren zijn dergelijke schakelingen niet eenvoudig te verwezenlijken, met operationele versterkers gaat het vanzelf. Gelukkig dus, dat we de tremolo helemaal met dergelijke geïntegreerde op-amps hebben uitgevoerd. De lesley-unit kan dan mooi met hetzelfde soort onderdelen opgebouwd worden.

Het basisschema van een  $-1$  versterker, opgebouwd met een operationele versterker, is getekend in figuur 4.

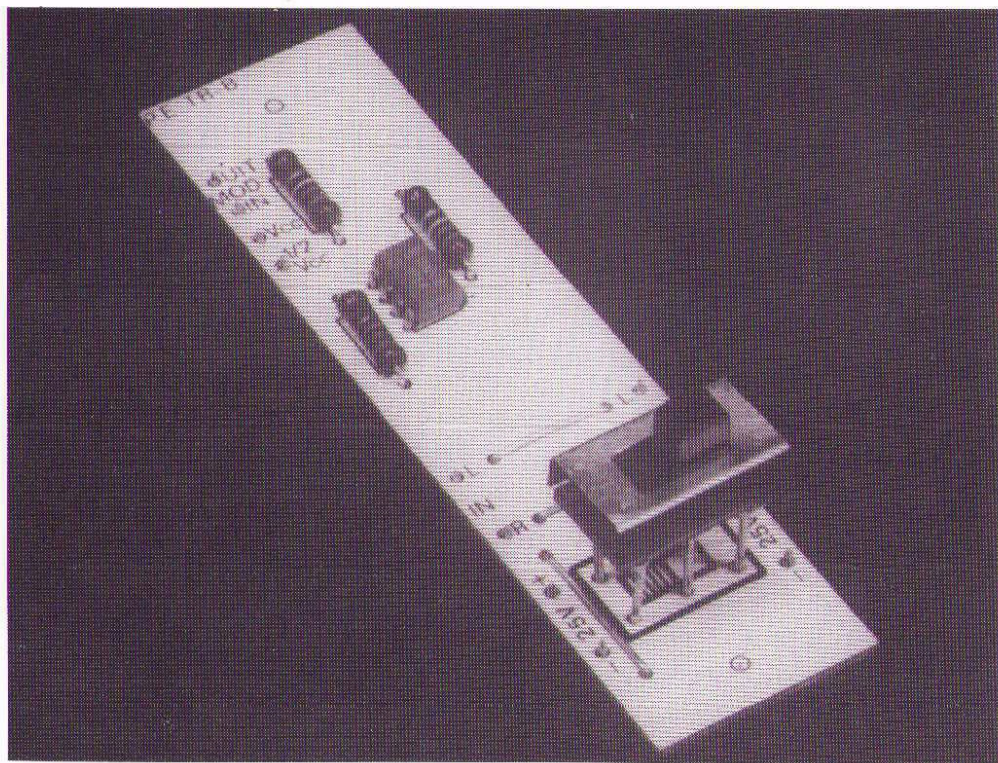
De op-amp wordt gevoed uit een symmetrische spanningsbron, dus uit een positieve en een even grote negatieve spanning. De positieve ingang van de op-amp is rechtstreeks met massa verbonden. Aan de negatieve ingang wordt het te inverteren signaal aangelegd, via een weerstand R1. De negatieve ingang is verder door middel van een weerstand R2 verbonden met de uitgang van de op-amp, wat tevens de uitgang van de  $-1$  versterker is. Let wel, die weerstand R2 is precies even groot als de weerstand R1! Dit is zeer belangrijk, want die belachelijke twee weerstandjes, en hun onderlinge gelijkheid, bepalen volledig de goede werking van de schakeling.

Voor het begrijpen van de werking van de schakeling is het belangrijk, dat wij ons een van de basis-eigenschappen van operationele versterkers voor de geest halen. De schakeling zal de spanning op de uitgang zo regelen, dat er tussen de twee ingangen geen spanningsverschil aanwezig is, met andere woorden, dat de spanning op de negatieve ingang eksakt gelijk is aan de spanning op de positieve ingang.

Denk er verder aan, dat de spanning op de uitgang zowel positief als negatief kan worden. De op-amp wordt immers met symmetrische voedingsspanning



Figuur 4. De eenvoudigste manier om een  $-1$  versterker op te bouwen is gebruik te maken van een operationele versterker, die uit een positieve en een even grote negatieve spanning gevoed wordt.



bedreven.

Welnu, stel dat we een spanning van + 1 volt aan de ingang van de schakeling aanleggen. Wat gaat er dan gebeuren?

Het is duidelijk, dat de spanning op de positieve ingang van de op-amp gelijk is aan nul. Deze ingang is immers rechtstreeks met de massa (de nul) verbonden. De op-amp zal zijn uitgangsspanning zo instellen, dat ook de spanning op de negatieve ingang gelijk wordt aan nul. Op het eerste gezicht lijkt dit onmogelijk. Immers, via weerstand R1 wordt een spanning van + 1 volt aan die ingang gelegd. Hoe kan die spanning dan gelijk worden aan nul? Toch kan dat, als men er rekening mee houdt dat via de terugkoppelweerstand R2 de toestand op de negatieve ingang ook beïnvloed kan worden.

Alvorens verder te gaan met de verklaring van de werking van deze -1 versterker, gaan we ogenschijnlijk erg afdwalen. We gaan het namelijk even hebben over een potmeter.



Als we, zoals in figuur 5a getekend is, een potmeter op een batterij aansluiten en we meten de spanning tussen de looper van de potmeter en de onderste aansluiting ervan, dan kunnen we vaststellen dat die spanning zich verhoudt zoals de twee deelweerstand, die door de looperplaats gevormd worden ( $R_1$  en  $R_2$ ). Als bijvoorbeeld de loper eksakt in het midden staat en de batterijspanning is 2 volt, dan meten we op de loper 1 volt. In dit geval zijn de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  aan elkaar gelijk.

Kijk nou eens naar figuur 5b. Daar hebben we precies dezelfde potmeter aangesloten op twee spanningsbronnen, eentje van + 1 volt en eentje van - 1 volt. Als we nou de spanning meten tussen de looper van de potmeter en de massa (dat is het middelpunt van de beide batterijen), dan stellen we vast, dat die spanning eksakt nul is, als de loper eksakt in de middenstand staat (dus als  $R_1$  gelijk is aan  $R_2$ ).

Ook in dit geval verdeelt de totale batterijspanning zich immers evenredig over de beide deelweerstand. Daar die aan elkaar gelijk zijn valt er over iedere potmeterhelft 1 volt en staat het knooppunt van de beide weerstanden, dus de loper van de potmeter, op nul volt.

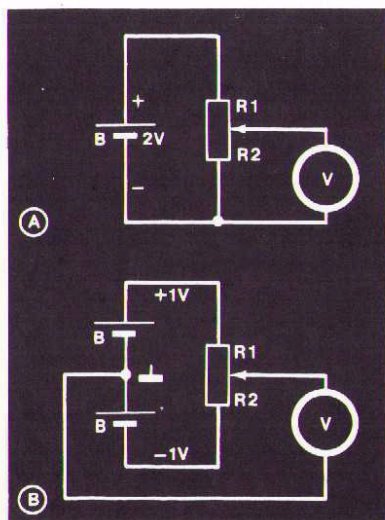
Als we nou terugkeren naar het schema van de -1 versterker valt er dadelijk een opvallende gelijkenis op. Immers, de beide gelijke weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  kunnen beschouwd worden als zijnde een potmeter, waarvan de loper (dat is dan in dit geval de middenaftakking) naar de negatieve ingang van de op-amp gaat. Als er aan een deel van die potmeter ( $R_1$ ) een spanning van + 1 volt staat, en de loper (negatieve ingang van de op-amp) moet op nul volt staan, dan kan dit alleen maar, wanneer de tweede helft van de potmeter ( $R_2$ ) op een spanning van - 1 volt staat.

Zo zien we dadelijk dat de schakeling inderdaad doet wat ervan verwacht wordt. De spanning van + 1 volt aan de ingang is omgezet in een even grote negatieve spanning!

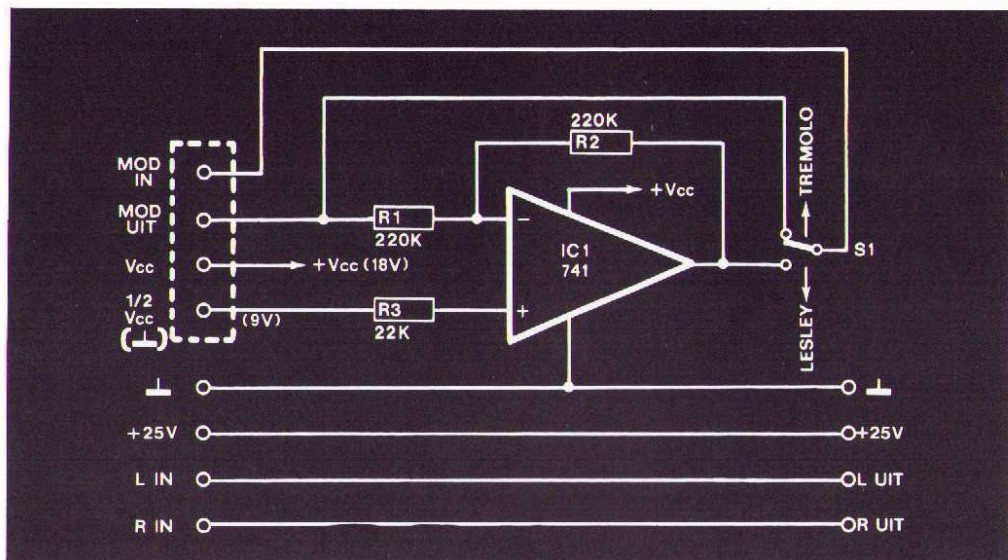
En dit alleen maar, doordat de twee weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  gelijk zijn en doordat de op-amp geen spanningsverschil tussen zijn beide ingangen duldt!

## PRAKTISCHE SCHAKELING

De praktische schakeling van de lesley-unit is getekend in figuur 6.



Figuur 5. Aan de hand van deze twee eenvoudige spanningsdelers, opgebouwd uit een potentiometer, wordt verklaard hoe het komt dat de schakeling van figuur 4 als -1 versterker werkt.



Figuur 6. Het volledige schema van de lesley-unit die dus duidelijk alleen maar een funktie heeft als aanvulling op de tremolo. Zonder de tremolo-unit kan men er niets mee doen.

## ONDERDELENLIJST

### WEERSTANDEN:

- R 1 = 220 k-ohm, 1/4 watt
- R 2 = 220 k-ohm, 1/4 watt
- R 3 = 22 k-ohm, 1/4 watt

### HALFGELEIDER:

- IC 1 = 741, minidil

### DIVERSEN:

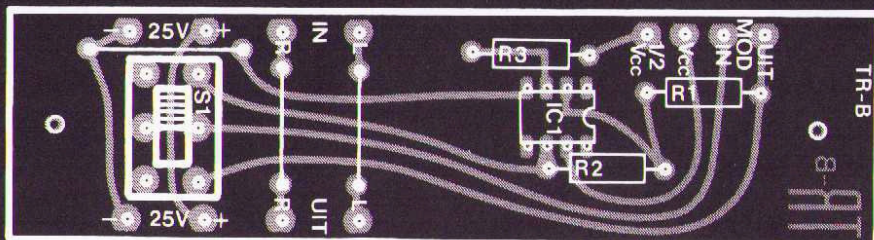
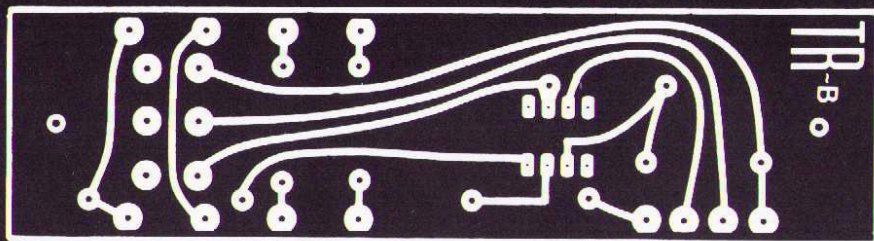
- S 1 = dubbelpolige omschakelaar, groot schuifmodel
- 1 x print TR-b
- 1 x frontje FP-TR-b
- 12 x printsoldeerlipjes
- 2 x 20 mm afstandsbusen
- 2 x M 3 x 30 schroeven
- 4 x M 3 moertjes

Zoals bekend uit het tremolo-verhaal hebben we op een listige manier de + 25 volt voedingsspanning van de moduulreeks omgevormd in een positieve en een even grote negatieve voedingspanning voor de op-amps van de schakeling. De massa werd dan de negatieve voedingspanning, en een kunstmatige massa werd gekreeerd op een spanning van + 9 volt. De positieve voedingspanning van de op-amps werd dan een spanning van + 18 volt. De ene op-amp van de lesley kan zonder problemen aan dit voedingsstelsel gekoppeld worden.

De positieve ingang van de op-amp gaat niet rechtstreeks naar de kunstmatige massa, maar via een weerstand van 22 kilo-ohm. Dat heeft iets te maken met compensatie van temperatuurs-effecten.

De modulatie-uitgang van de tremolo (dat is dus het sinus-sigitaal dat geïnverteerd moet worden) gaat naar de negatieve ingang van de op-amp, via een weerstand van 220 kilo-ohm. Tussen deze ingang en de uitgang staat een even grote weerstand, zoals te verwachten was. Door middel van de omschakelaar S1 kan men de modulatie-ingang van de tremolo (herinnert u zich nog, dat is de modulatie-ingang van het rechter geluidssigitaal, dat tot nu toe door middel van een draadje op de print met de modulatie-uitgang verbonden moest worden) omschakelen tussen in- en uitgang van de -1 versterker.





De voedingslijn en de linker- en rechtersignaallijnen worden op deze print gewoon doorgetrokken, om in stijl te blijven met de rest van de moduul-schakelingen.

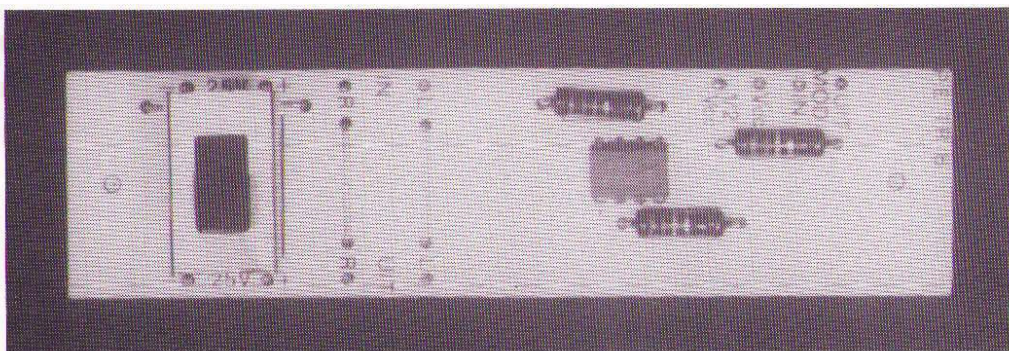
## DE BOUW

Het spreekt dat over de bouw van zo'n eenvoudige schakeling niets te vertellen valt. De print is getekend in figuur 7, de eenvoudige bestukking in figuur 8. Let op de drie draadbruggen.

Een verhaaltje waard is de montage van de omschakelaar. Bij de overige modules wordt dit onderdeel door middel van twee 20 mm lange afstandsbusen op de print geschroefd, middels de twee daarvoor aanwezige bevestigingslippen. De print van de lesley is echter smaller dan de volledige breedte van de schakelaar. En om nou die print breder (en dus duurder) te maken, alleen maar voor het creëren van een plaatsje voor die bevestigingslippen, nee, dat vonden we een beetje te gek. Vandaar dat de twee lippen van de schakelaar gesloopt worden. Nadien worden zes stevige (en als we zeggen stevige, dan bedoelen we ook stevige!) draden aan de aansluitlippen van de schakelaar gesoldeerd en de schakelaar op de juiste afstand boven de print gemonteerd. De mechanische stabiliteit van dit geheel hangt dus alleen maar af van de krachten die de zes draden kunnen hebben zonder krom te gaan staan.

Figuur 7. De print TR-b voor de schakeling.

Figuur 8. De zeer eenvoudige bestukking van de print. Uit deze figuur blijkt dat de print in feite te groot is voor de schakeling. Omdat zij opgenomen moet kunnen worden in de reeks moduulschakelingen, hadden we echter geen andere keus.



Vandaar dus, inderdaad, stevige draden.

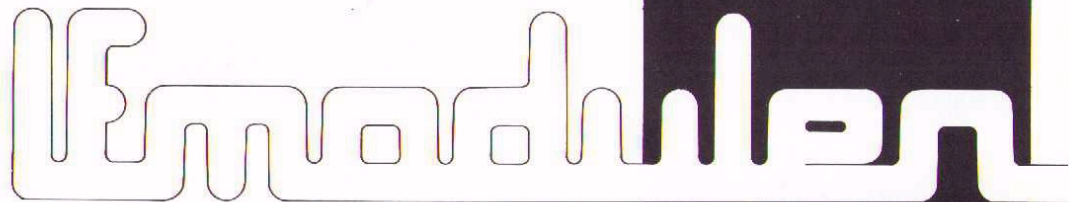
De print wordt na het bestukken met het frontje verbonden door middel van twee schroeven met afstandsbusjes van 20 millimeter.

De samenbouw van lesley en tremolo kan geen problemen geven. Men moet slechts de gelijkgenaamde aansluitingen op de beide prints (die bovendien op dezelfde plaats zitten) met korte, onafgeschermdedraden doorverbinden.

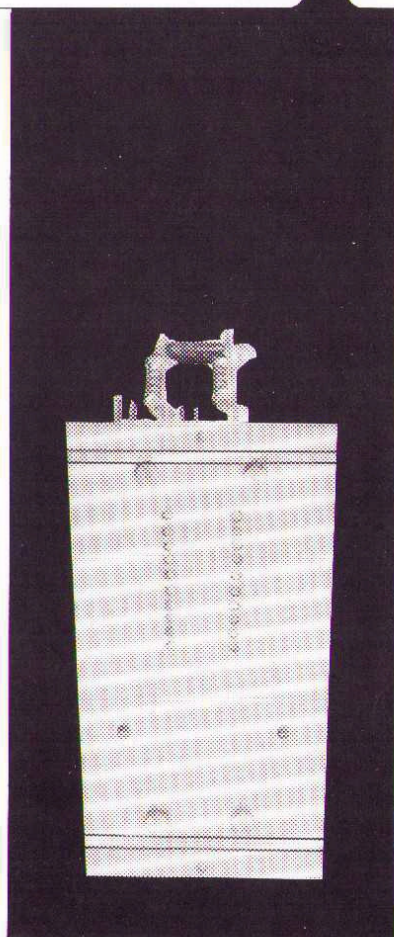
Voor deze schakeling hebben wij geen spanningsplaattegrond opgesteld. De schakeling is immers zo eenvoudig, dat er werkelijk niets kan misgaan bij de bouw.



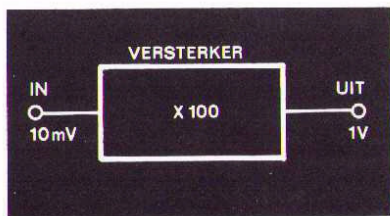
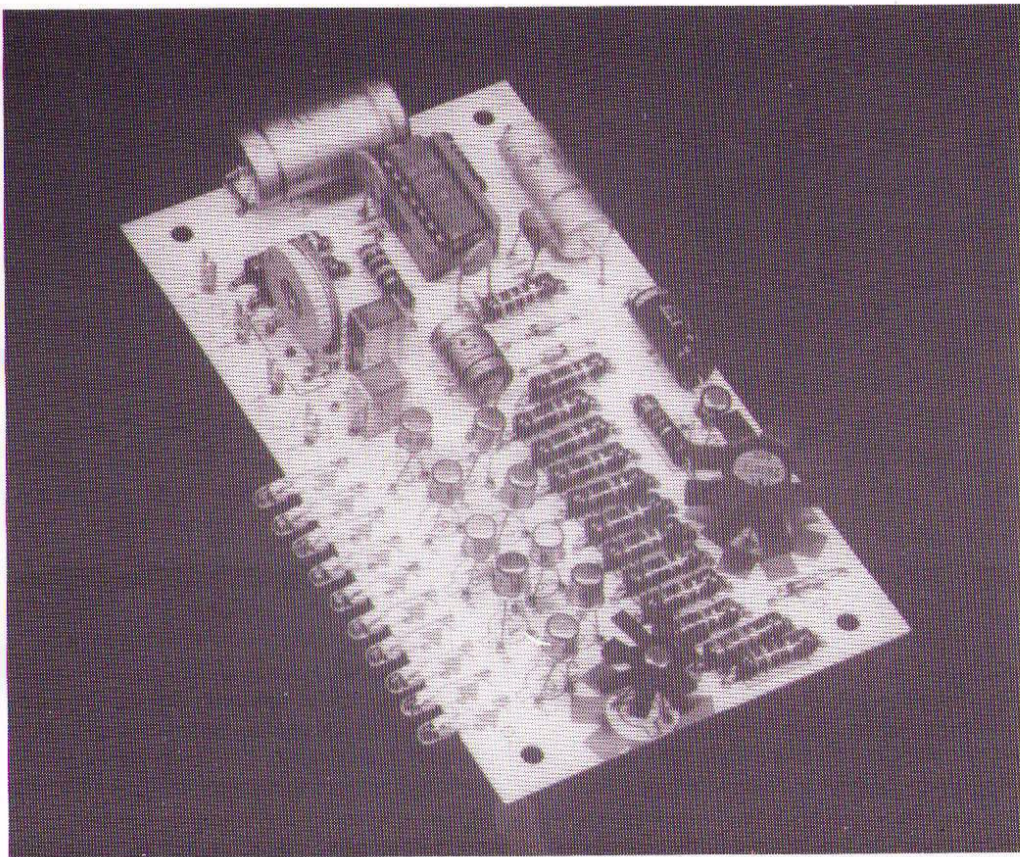
# led vu meter



Een VU-meter is een schakeling die door middel van een metertje met een deci-bell schaal aangeeft hoe groot het volume van een geluidssignaal ergens in een keten is. VU-meters treft men op iedere bandopnemer aan en het betere soort mengpanelen en versterkers is er ook mee uitgerust. Door middel van zo'n meter kan men constateren of het geluidssignaal een bepaald volume al dan niet overschrijdt. De in dit hoofdstuk beschreven LED VU-meter doet dat ook, al gebruikt hij bij de uitvoering van die taak geen normaal meter-tje. De LED VU-meter heeft een rijtje LED's, licht-gevende diodes, waarvan er een aantal oplichten. Dat aantal is afhankelijk van de grootte van het signaal aan de ingang. Hoe meer signaal, hoe meer diodes op-lichten. Het resultaat is een lichtkolom, waarvan de lengte evenredig is met de grootte van het geluids-signaal. Natuurlijk moet zo'n rijtje LED's geijkt wor-den. Dat doet men door bij iedere LED een bepaalde deci-bell waarde te zetten. Als de lichtkolom gaat branden tot aan de LED „-4 dB”, dan is de grootte van het gemeten geluidssignaal op dat moment -4 dB. LED VU-meters zijn in de eerste plaats een modever-schijnsel. Steeds meer apparatuur in de Hi-fi branche wordt ermee uitgerust. Het enige voordeel is (naast de snelle reactie van de LED's op een veranderend sig-naal) dat men door gebruik te maken van verschillend gekleurde LED's een zeer duidelijke indicatie ver-krijgt van de „gevaarlijke zone”, die oversturing van het geluidssysteem kan veroorzaken. Ook bij deze LED VU-meter wordt dit truukje toegepast.







Figuur 1. Aan de hand van dit eenvoudig voorbeeldje, een versterkertrap, wordt het begrip „deci-bel” gedefinieerd.

## HET BEGRIIP DECI-BEL

Vooraleer men een bouwbeschrijving van een VU-meter gaat beginnen is het uiteraard wel eerst even nodig te verklaren wat zo'n meter nou eksakt meet.

Een VU-meter meet deci-bel. De deci-bel is, net zoals de deci-meter het tiende deel van een meter is, het tiende deel van een bel. De bel is een grootheid, die iets zegt over de verhouding tussen twee spanningen of twee vermogens. In de populaire elektronika gaat het hierbij om de verhouding van twee spanningen, en daar gaan wij onze uitleg dan ook op baseren.

Stel dat je een versterker hebt en je wil graag weten hoeveel deze versterker versterkt. Dan leg je een klein spanninkje aan de ingang, 10 milli-volt bijvoorbeeld, en meet de uitgangsspanning. Als die uitgangsspanning 1 volt (= 1000 milli-volt) is, dan kan je besluiten dat die mooie versterker 1000 milli-volt gedeeld door





10 milli-volt, is 100 maal versterkt. Dat is dus zeer eenvoudig en in feite bestaat er helemaal geen behoefte om hiervoor een nieuwe eenheid, de deci-bel, in te voeren.

Zo'n versterkertrap, zoals getekend in figuur 1, staat echter meestal niet alleen. Hij is een onderdeel van een versterkersysteem, met voorversterker, toonregeling, balansregeling, volumekontrolle en eindversterker. Zo'n systeem is getekend in figuur 2. Iedere trap heeft een bepaalde versterking of verzwakking. Als men nou de totale versterking of verzwakking wil weten, dan moet men de deelversterkingen, die in iedere trap zijn ingetekend, met elkaar gaan vermenigvuldigen. Dat is natuurlijk niet meer zo eenvoudig.

Vandaar dat men gezocht heeft naar een methode, waarbij men de totale versterking van het systeem kan bepalen door de verschillende versterkingen van de afzonderlijke trappen eenvoudig bij elkaar op te tellen. Die methode heeft men gevonden door het invoeren van die nieuwe grootte, de deci-bel.

In wiskundige termen uitgedrukt is de deci-bel 20 keer het logaritme van de verhouding van de uitgangsspanning tot de ingangsspanning. Of in formulevorm:

$$A \text{ dB} = 20 \log \frac{V_{\text{uit}}}{V_{\text{in}}}$$

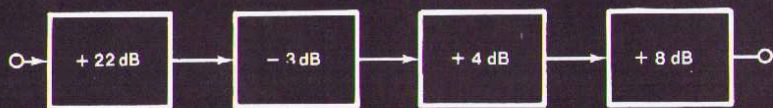
Nu zegt u die formule waarschijnlijk niet zo veel. Dat is ook niet erg, want in de praktijk krijgt men er nooit mee te maken. Er zijn immers ooit handige tabelletjes opgesteld, waaruit men kan aflezen met hoeveel deci-bel een bepaalde versterkingsverhouding correspondeert. In figuur 3 zijn enige veel voorkomende deci-bel-waarden omgerekend naar een spanningsverhouding. Uit deze tabel kan afgelezen worden wat er van een ingangsspanning van 1 volt overblijft, als die spanning een bepaald aantal deci-bel versterkt of verzwakt is.

Door die logaritme in de deci-bel-formule (het loga-

Figuur 2. Een versterkersysteem, opgebouwd uit verschillende trappen met ieder een bepaalde versterking. De totale versterking is gelijk aan het produkt van de deelversterkingen, een hele rekenklus!

versterking in deci-bel	uitgangsspanning in volt
-40	0,010
-35	0,017
-30	0,031
-25	0,056
-20	0,100
-15	0,177
-10	0,316
-5	0,562
-4	0,631
-3	0,707
-2	0,794
-1	0,891
0	1
+1	1,122
+2	1,259
+3	1,413
+4	1,585
+5	1,778
+10	3,162
+15	5,623
+20	10,000
+25	17,78
+30	31,62
+35	56,23
+40	100,00

Figuur 3. In deze tabel wordt het verband tussen enige deci-bel-waarden en de daarmee overeenkomende spanningsverhouding gegeven. De tabel is zo opgebouwd, dat men de uitgangsspanning kan aflezen van een versterker met een ingangsspanning van 1 volt en die het door de tabel gegeven aantal deci-bel versterkt of verzwakt.



Figuur 4. Een identiek versterkersysteem als in figuur 2, maar nu met de versterkingen weergegeven door middel van deci-bel-waarden. De totale versterking is nu gelijk aan de som van de deelversterkingen en is dus zeer gemakkelijk te bepalen.

ritme is een begrip uit de wiskunde, waardoor men onder andere grote getallen toch eenvoudig kan voorstellen; het is dus een soort rekenwijze voor zeer grote getallen) krijgt men wel enige voordelen.

Zo zullen grote versterkingen of verzwakkingen teruggebracht worden tot handzame getallen. Verder kan de totale versterking van een versterkersysteem berekend worden door gewoon de verschillende deelversterkingen bij elkaar op te tellen. In figuur 4 is dit voorgesteld. In deze figuur is een soortgelijke versterkingsketen getekend als in figuur 2, maar nu met de verschillende versterkingen weergegeven door middel van deci-bel-waarden. De totale versterking volgt uit een eenvoudig optelsommetje:

$$22 \text{ dB} - 3 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 8 \text{ dB} = 31 \text{ dB}$$

Uit het tabelletje van figuur 3 kan men dan dadelijk afleiden dat de totale versterking gelijk is aan 35,48. Bij iedere deci-bel-berekening moet men er op letten dat het decibel-getal een verhouding van twee spanningen uitdrukt. Nu zult u natuurlijk zeggen: bij het VU-metertje in mijn bandopnemer is er toch maar een spanning, namelijk de uitgangsspanning van de versterker, waarop de rekorder is aangesloten. Hoe nu die verhouding? Nou, toch zit men hier ook met een verhouding, al is dat niet de verhouding van twee spanningen die ergens op hetzelfde tijdstip aanwezig zijn.

Bij een VU-meter drukt de deci-bel-schaal de verhouding uit van de ogenblikkelijke waarde van een spanning tot de maximale waarde die deze spanning mag hebben. Die maximale waarde komt overeen met het nulpunt van de deci-bel-schaal.

Een voorbeeldje: als het signaal dat aan de VU-meter wordt aangeboden zo groot is, dat de wijzer uitslaat tot de waarde  $- 8 \text{ dB}$ , dan wil dat zeggen dat dit sig-



naal nog 8 dB groter mag worden, vooraleer de maximale waarde bereikt is. Die maximale waarde kan van alles zijn; bij een rekorder is dat natuurlijk die spanning, waarbij het signaal dat aan de koppen wordt aangeboden, vervormd gaat worden.

Een volgende eigenschap van een deci-bel-schaal, die niet onvermeld kan blijven, is het feit dat zo'n schaal niet lineair is.

Kijk, een gewone schaal van een meter, zoals de gelijkspanningsschaal van een universeelmeter, is lineair. Dat wil zeggen, dat alle schaaldelen even ver van elkaar liggen. Bij een schaal van 10 volt zal deze schaal in tien even grote delen verdeeld zijn, die dan ieder overeenkomen met 1 volt. Zo niet bij de deci-bel-schaal. Als uw rekorder een schaal heeft, die gaat van  $-20$  tot  $+3$  deci-bel, dan zult u merken dat deze schaal alles behalve lineair is. Dat is een logisch gevolg van het logaritmische systeem, waarvan de deci-bel onderdeel uitmaakt. Dit is niet zo erg als het lijkt, het kan zelfs een voordeel zijn. Door deze a-lineariteit wordt immers het niet zo belangrijke gedeelte van de schaal samengeperst en wordt het interessante gedeelte breed uitgesmeerd over de schaal.

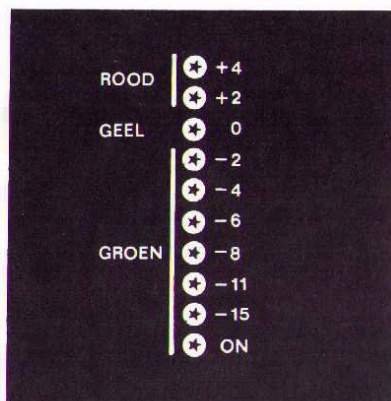
Als we nu even gaan kijken naar het schaalverloop van deze LED-VU-meter, dan stellen we vast dat ook hier een bepaalde a-lineariteit aanwezig is. Hoewel minder uitgesproken dan bij een normale VU-meter, is ook hier het nuttige gebied van de schaal, dus van  $-10$  tot  $+4$  deci-bel, over het grootste gedeelte van de schaal uitgespreid. De schaal van de LED-VU-meter is getekend in figuur 5.

Het onderste lampje heeft geen deci-bel-waarde, omdat dit altijd brandt. Het is dus een soort controle-lampje. Het nulpunt van de schaal ligt bij het achtste lampje, het negende en tiende liggen dus in het verboden gebied en zijn bijgevolg rood.

Uit deze figuur kan afgeleid worden, dat het bereik van de LED-VU-meter loopt van  $-15$  tot  $+4$  deci-bel. Dat gebied is niet zo uitgebreid als dat van een klassieke VU-meter, maar in de praktijk is dit als niet bezwaarlijk ervaren.

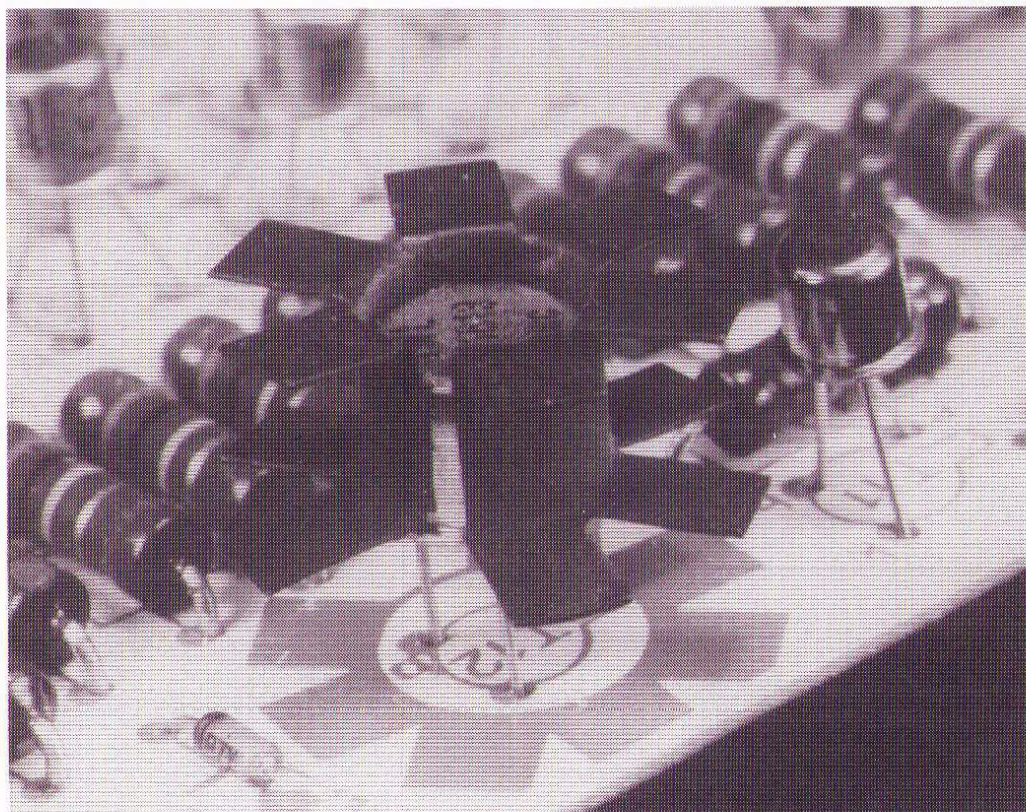
## HET PRINCIPE VAN EEN VU-METER

Het zal duidelijk zijn dat door het gebruik van LED's als uitleeselementen de elektronika in de VU-meter uitgebreid wordt.



Figuur 5. De schaal van de LED-VU-meter. Door het gebruik van drie verschillende kleuren LED's kan men ook op grote afstand vaststellen of het systeem, waarvan de meter deel uitmaakt, al dan niet overstuurd wordt.





Vandaar dat we eerst even de werking van een gewone VU-meter door middel van een blokschemaatje verduidelijken. Dit blokschema is getekend in figuur 6. Een basis-VU-meter is opgebouwd uit twee zeer eenvoudige schakelingetjes: een klampkring en een gelijkrichter. De klampkring heeft tot taak een zo groot mogelijk gedeelte van de wisselspanning aan de ingang geschikt te maken voor gelijkrichting. De gelijkrichter vormt dit signaal om in een gelijkspanning, waarvan de grootte evenredig is met de grootte van de wisselspanning. Deze gelijkspanning stuurt tenslotte het meterspoeltje. Op de preciese werking van beide kringen komen we in een later stadium nog terug. Uit dit blokschema kunnen wel enige eigenschappen worden afgeleid, waaraan een goede VU-meter moet voldoen.

In de eerste plaats moet de meter (of het rijtje lampjes) snel reageren op een plotse toename van het geluidssignaal. Men zegt, dat de VU-meter de pieken van



het geluidssignaal zo goed mogelijk moet volgen. Uit dat zo goed mogelijk volgt al, dat dit niet voor 100% mogelijk is. Hoe sneller de meter reageert, hoe beter. Het is immers juist bij deze plotse geluidspieken dat oversturing van een rekorder kan optreden!

Bij het verwezenlijken van deze eis heeft een LED-VU-meter duidelijk voordelen. Immers, een reeks lampjes wordt niet gehinderd door enige mechanische traagheid, waar een meter wel last van heeft.

Een tweede eis is dat het systeem een bepaalde teruglooptraagheid heeft. Daaronder wordt verstaan dat de meter, na het indikeren van een piek, er een bepaalde tijd over moet doen om weer op het gemiddeld nivo terug te komen. Deze eis is belangrijk voor wat betreft het verkrijgen van een rustige aflezing. Deze eis kan bij beide systemen heel eenvoudig verwezenlijkt worden.

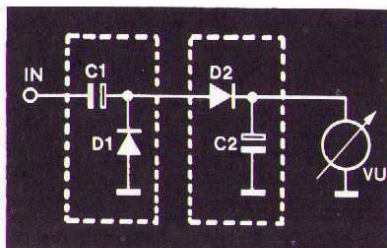
Een derde eis is, dat het ingangsspanningsbereik aangepast moet zijn aan het gebruik van de meter. De gevoeligheid van de meter moet groot genoeg zijn om bijvoorbeeld het signaal na een voorversterker te kunnen meten. Hier is de klassieke meter duidelijk in het voordeel: meestal is het daarbij mogelijk zonder extra versterking aan die eis te voldoen. Bij de bespreking van het werkingsprincipe van de LED-VU-meter zal blijken dat hierbij een flinke versterking in de meter ingebouwd moet worden.

## HET PRINCIPE VAN DE LED-VU-METER

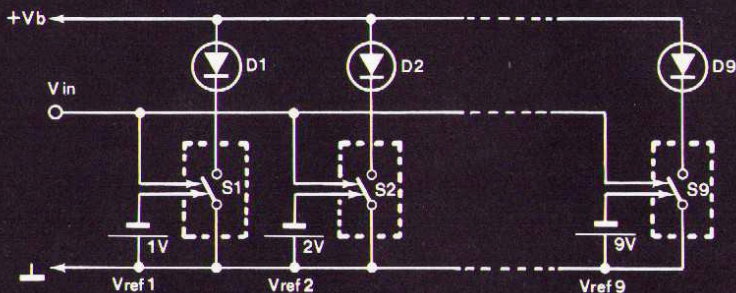
Laten we voorop stellen dat er niet zoiets bestaat als „het” principe van een LED-VU-meter. Er zijn verschillende mogelijkheden om een reeks lampjes te laten reageren op de grootte van een spanning. Er bestaan tegenwoordig zelfs geïntegreerde schakelingen, waaraan slechts de te meten spanning en de reeks LED-jes moeten worden aangelegd!

Het zal duidelijk zijn dat het al dan niet branden van een LED gekommandeerd moet worden door de grootte van de spanning aan de ingang. In figuur 7 is het algemene blokschema van de door ons ontwikkelde schakeling getekend.

De 9 te sturen LED's worden in serie met een elektronische schakelaar op de voedingsspanning aangesloten. De ingangsspanning stuurt alle schakelaars. Het sluiten van een schakelaar, en dus het branden van de korresponderende LED wordt gecontroleerd door een



Figuur 6. Het blokschema van een normale VU-meter. De schakeling is opgebouwd uit een zogenaamde klampkring en een topgelijkrichter.



Figuur 7. Het allerprincipeelste schema van een LED-VU-meter. De verschillende LED's worden gestuurd door middel van elektronische schakelaars, die gecontroleerd worden door zogenaamde referentiespanningen. Dergelijke schakelaars noemt men ook wel eens „komparatoren“, omdat zij een bepaalde variërende spanning vergelijken (= kompareren) met enige bekende referentiespanningen.

referentiespanning  $V_{ref}$ . Als de ingangsspanning groter wordt dan de referentiespanning van een bepaalde schakelaar, dan zal deze schakelaar sluiten en de bijbehorende LED gaan branden. Het is duidelijk dat iedere schakelaar een andere referentiespanning moet hebben. Zo zal in het voorbeeld van figuur 7 de referentiespanning  $V_{ref-1}$  het kleinst zijn (1 volt). Als de ingangsspanning nul is, dan zijn alle schakelaars geopend en de LED-jes zijn gedoofd. Stijgt de ingangsspanning tot 1 volt, dan sluit  $S_1$  en de LED  $D_1$  gaat oplichten. Stijgt de ingangsspanning nog meer, tot bijvoorbeeld 5 volt, dan zullen de vijf eerste schakelaars gesloten worden en zullen ook de vijf eerste LED's oplichten.

Het realiseren van die elektronische schakelaars is geen kunst. Een transistortje per schakelaar volstaat. De originaliteit van het totale ontwerp is afhankelijk van de manier waarop de 9 referentiespanningen worden opgewekt.

Hoewel er reeds een heleboel van dergelijke schakelingen zijn beschreven, hebben wij nog nergens de door ons toegepaste methode gezien. In onze schakeling wordt namelijk de spanning die ontstaat over een brandende LED gebruikt als referentiespanning voor het sturen van de volgende LED in het rijtje.

De referentiespanningsschakeling, die meestal het uitgebreidste deel van het ontwerp is, valt dus weg. Hierdoor kon meer aandacht besteed worden aan de voorversterker en aan de snelheid, waarmee de meter op spanningspieken reageert.

## DE LED-STURING

Vooraleer het blokschema van de meter te bespreken,



gaan we eerst uitvoerig de sturing van de reeks LED's onder ogen nemen.

In figuur 8 is een vereenvoudigd schema getekend. Alle LED's (voor de eenvoud zijn er in dit schema slechts 5 getekend) zijn in serie geschakeld en via een voorschakelweerstand verbonden met een positieve spanning. Over iedere LED staat een elektronische schakelaar.

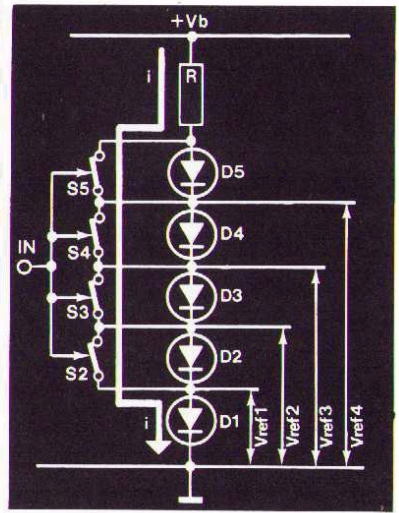
Het voornaamste verschil met het schema van figuur 7 is, dat hier in rust, dus zonder signaal aan de ingang, de schakelaars gesloten zijn.

De stroom, die zich van de positieve voedingsspanning een weg zal zoeken naar de massa, staan nu twee wegen open: of door de LED's vloeien, of door de gesloten schakelaars. Nu is een elektrische stroom van nature erg lui. Hij kiest steeds de weg van de minste weerstand, waarmee maar weer eens bewezen is dat luiheid een erg natuurlijke eigenschap is, die in ere gehouden moet worden. De weg van de minste weerstand is uiteraard de weg via de gesloten schakelaars. De stroom vloeit dus naar massa via de weerstand, S5, S4, S3, S2 en de LED D1. Deze laatste LED gaat dus branden.

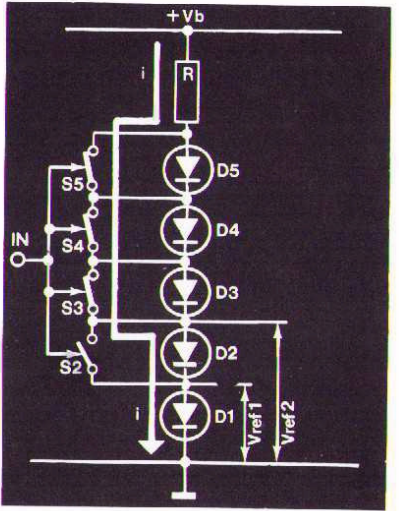
Nu weet men dat over een brandende LED een spanning ontstaat van ongeveer 1,7 volt. Deze 1,7 volt is nu de referentiespanning van de elektronische schakelaar S2. Als de ingangsspanning groter wordt dan deze waarde, dan gaat deze schakelaar sluiten. Wat er dan gebeurt is getekend in figuur 9. De erg luie stroom wordt nu gedwongen ook door de tweede LED D2 te vloeien. Over deze halfgeleider ontstaat nu ook een spanning van ongeveer 1,7 volt. Deze spanning staat in serie met de geleidingsspanning van de eerste LED. De som van beide spanningen, dus ongeveer 3,4 volt, is nu de referentiespanning van de elektronische schakelaar S3. Deze zal dus eerst openen bij een ingangsspanning van 3,4 volt.

De derde LED gaat dan oplichten, er ontstaat een referentiespanning van ongeveer 3 maal 1,7 volt. Deze spanning bepaalt het al dan niet openen van de elektronische schakelaar S4.

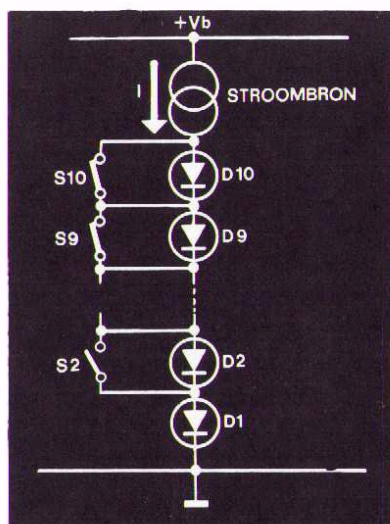
Dit sisteempje, erg eenvoudig, werkt uitstekend. Toch is er een puntje waar op gelet moet worden. We hebben in de bespreking namelijk verondersteld dat de stroom die de LED's doet oplichten konstant blijft. Dit is helaas niet het geval. Dit is als volgt te verkla-



Figuur 8. Het principeel schema van de LED-VU-meter. De referentiespanningen ontstaan over de geleidende lichtgevende diodes. In dit voorbeeld zijn alle schakelaars gesloten en brandt bijgevolg enkel de onderste LED.



Figuur 9. Als de ingangsspanning groter wordt dan de eerste referentiespanning, dan zal de eerste schakelaar openen, waardoor ook de tweede LED gaat branden en de referentiespanning voor de volgende elektronische schakelaar wordt opgebouwd.



Figuur 10. Door gebruik te maken van een konstante stroombron voor het voeden van de LED's zal de intensiteit van het branden niet meer afhankelijk zijn van het aantal aangeschakelde LED's.

ren: De stroom door de keten wordt bepaald door de spanningsval over de weerstand, die in serie staat met de lichtgevende diodes. Deze spanningsval is echter afhankelijk van het aantal oplichtende LED's. In het voorbeeld van figuur 8 is deze spanning gelijk aan de voedingsspanning minus de geleidingsspanning van de onderste LED. Deze spanning ligt immers via de gesloten schakelaars rechtstreeks aan de onderste aansluiting van de weerstand. Als er meer lichtgevende diodes gaan branden, dan stijgt de spanning aan de onderzijde van de weerstand. De stroom gaat dus dalen.

Het gevolg is dat de intensiteit waarmee de LED's gaan branden afhankelijk is van het aantal geleidende LED's. Dit is ten eerste niet fraai, maar ten tweede ontstaat het gevaar dat in de situatie van figuur 8 de stroom zo groot is, dat de maximale stroom die door de LED mag vloeien overschreden wordt. Als men de stroom in dit geval op een veilige waarde begrenst, door de waarde van de weerstand groot genoeg te kiezen, dan kan het voorkomen dat de stroom, op het moment dat alle schakelaars geopend zijn, zo klein is geworden, dat de LED's niet meer zichtbaar oplichten. Hier moet dus iets op gevonden worden.

Dat „iets" is een konstante stroombron, die de plaats van de voorschakelweerstand inneemt. Zo'n konstante stroombron, de naam zegt het al, is een schakeling die de stroom konstant houdt. De waarde van de stroom wordt bepaald door de onderdelen in de stroombron.

Het schema van de uitlezing wordt dan zoals getekend in figuur 10. In dit schema is de stroombron door een symbool voorgesteld: twee in elkaar grijpende cirkels. Het maakt nu niets meer uit hoeveel LED's er branden: de stroom door de keten blijft op de eenmaal ingestelde waarde.

In de volgende paragrafen worden de verschillende onderdelen van het totale schema besproken.

## DE KONSTANTE STROOMBRON

De konstante stroombron is getekend in figuur 11. Zoals men kan vaststellen is het een zeer eenvoudig schakelingetje.

De werking berust op het gegeven, dat een geleidende transistor steeds ongeveer 0,7 volt tussen basis en emitter wil hebben.



De basis van de halfgeleider wordt door middel van een zenerdiode D1 en een weerstand R2 op een konstante spanning ingesteld. Let hierbij echter op! Meestal worden konstante spanningen altijd gemeten ten opzichte van het massapotentiaal. Dit is hier niet het geval. De spanning tussen de basis en de positieve voedingslijn wordt konstant gehouden op een spanning van 4,7 volt. Bij het aanschakelen van de voeding gaat er een bepaalde stroom door de transistor vloeien. Deze stroom wordt bepaald door de waarde van de weerstand R1. De stroom zal zich zo instellen dat de spanning op de emitter 0,7 volt positiever is dan de spanning op de basis. We hebben hier immers te maken met een PNP-transistor, en bij dat soort halfgeleiders is de spanning op de basis negatiever dan de spanning op de emitter.

Let er verder op, dat de omcirkelde spanningen niet zijn gemeten ten opzichte van de massa, maar ten opzichte van het positieve voedingspotentiaal. De spanning op de basis is dus geen 4,7 volt, maar 25 volt min 4,7 volt = 20,3 volt.

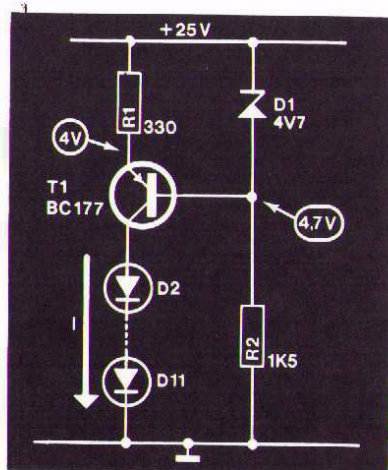
Zolang de waarde van de weerstand R1 en de waarde van de zenerdiode niet veranderen, is het duidelijk dat de stroom konstant zal blijven. Immers, alleen met die bepaalde stroom zal aan de hogergenoemde voorwaarde van 0,7 volt tussen emitter en basis voldaan kunnen worden. Deze konstante stroom  $I$  vloeit door de LED's of door de over de LED's geplaatste schakelaars. De intensiteit van het gloeien is dus steeds hetzelfde.

Zo'n konstante stroombron is in feite niets anders dan een klein regelsysteem. Stel dat de stroom door de transistor om een of andere reden zou willen gaan dalen. De spanningsval over de weerstand R1 zal dan natuurlijk ook kleiner worden, waardoor de spanning tussen emitter en basis groter wordt. Het gevolg is, dat de transistor meer gaat geleiden, zodat de stroom op de originele waarde wordt hersteld.

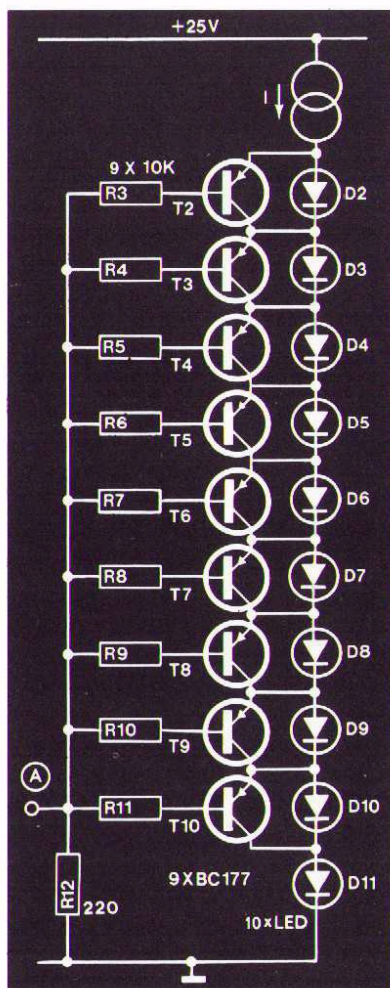
Als de stroom zou willen stijgen, dan valt er meer spanning over de emitterweerstand. De transistor gaat minder geleiden, en de stroomstijging wordt automatisch tegengewerkt.

## HET LED-SISTEEM

Het uitleessysteem met de stuurschakelaars is getekend in figuur 12.



Figuur 11. Het praktische schema van de stroombron. De zenerdiode is zeer belangrijk, want de konstante spanning over dit onderdeel is verantwoordelijk voor het konstant houden van de stroom door de transistor.



Zoals reeds gezegd zijn alle LED's in serie geschakeld en worden gevoed uit de konstante stroombron. De functie van elektronische schakelaar wordt uitgeoefend door 9 PNP-transistoren.

De onderste LED, D11, is niet in het systeem opgenomen. Hij brandt dus bij het aanschakelen van de voedingsspanning. Hij wekt de eerste referentiespanning op.

De verklaring van de werking van de schakeling begint met een ingangsspanning gelijk aan nul.

Zoals men weet zal een PNP-transistor gaan geleiden, als de spanning op de basis negatiever is dan de spanning op de emitter.

In het beschouwde voorbeeld is duidelijk aan deze voorwaarde voldaan. Immers, alle basissen liggen via basisweerstanden van 10 kilo-ohm op nul volt (de ingangsspanning). Alle transistoren trekken dus basisstroom, zodat ze allemaal geleiden. De konstante stroom van de spanningsbron vloeit af naar massa via de geleidende transistoren en de LED D11. Alleen deze lichtgevende diode zal branden.

Over deze diode ontstaat dus een spanningsval van ongeveer 1,7 volt. Deze spanning is de referentiespanning van de eerste elektronische schakelaar T10. Deze 1,7 volt belandt immers via de geleidende halfgeleider T10 op het knooppunt van de LED's D9 en D10.

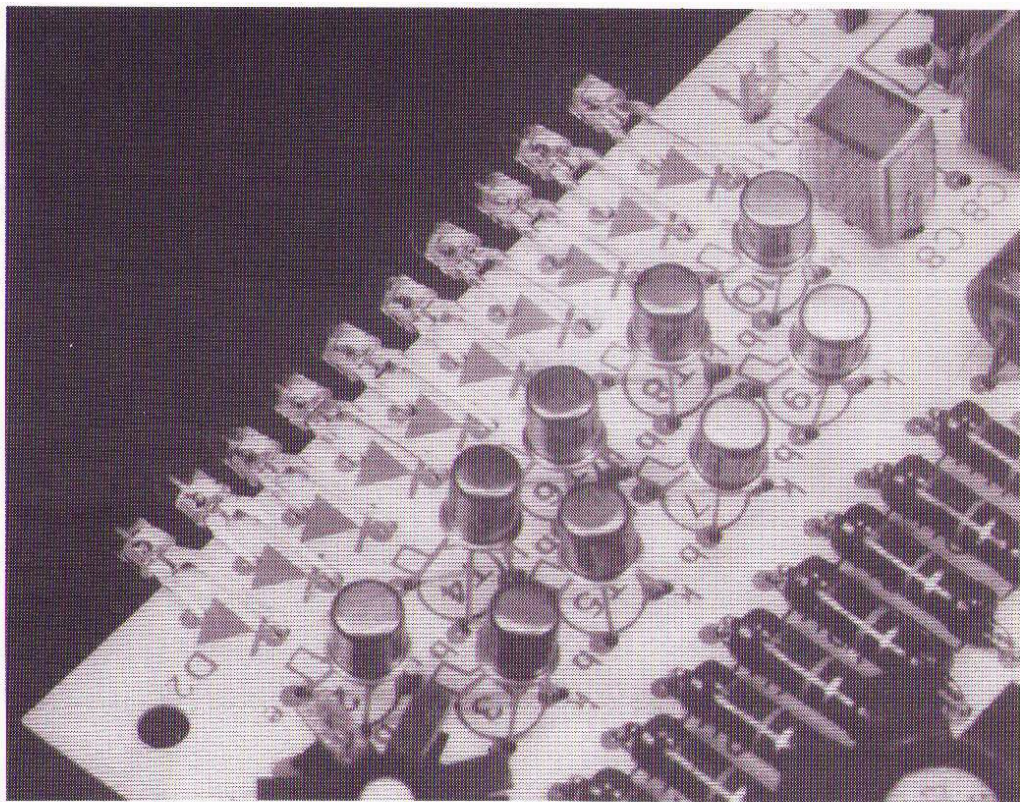
De emitter van transistor T10 staat dus op een potentiaal van 1.7 volt.

Stel nu, dat de ingangsspanning zeer langzaam gaat stijgen. Zolang de ingangsspanning kleiner blijft dan 1 volt is er niets aan de hand. Het spanningsverschil tussen basis en emitter van transistor T10 is nog steeds groter van 0,7 volt en deze halfgeleider blijft geleiden. Als de ingangsspanning verder stijgt, dan zal de genoemde transistor gaan sperren. Het gevolg is dat de konstante stroom gedwongen wordt door de LED D10 te lopen. Deze diode licht op en erover ontstaat een spanning van ongeveer 1,7 volt. De som van de twee geleidingsspanningen belandt nu op de emitter van de transistor T9. Deze halfgeleider blijft dus geleiden tot de ingangsspanning de waarde 2,7 volt overschrijdt.

Men stelt vast dat bij stijgende ingangsspanning er steeds meer transistoren in sper zullen komen en steeds meer LED's zullen oplichten.

Aan de fundamentele werking van een LED-VU-





meter is dus voldaan.

Toch zijn er enige minder prettige bijkomstigheden. In de eerste plaats leert een eenvoudig rekensommetje, dat de laatste transistor (T2) gaat sperren als de spanning op de ingang gestegen is tot 17 volt. Het kleine geluidssignaal (0,1 volt) moet dus flink versterkt worden.

In de tweede plaats moet de weerstand R12, geschakeld tussen het knooppunt van alle basisweerstanden en de massa, aan een bepaalde eis voldoen. Hij mag namelijk niet te groot zijn. Dit kan als volgt verklaard worden: Door deze weerstand vloeit de som van alle individuele basisstromen. Nu is een basisstroom vrij klein, maar de som van 9 kleine stromen is toch een flink bedrag. Door deze stroom wordt er over de weerstand R12 een spanningsval opgewekt. Als de waarde van de weerstand te groot is, dan kan het gebeuren dat die spanningsval zo groot is, dat bijvoorbeeld de twee onderste schakeltransistoren gesperd



worden. De LED's D9 en D10 gaan dan branden, wat natuurlijk niet de bedoeling is. Experimenten hebben uitgewezen, dat deze weerstand niet groter mag zijn dan 220 ohm.

Nou is dat op zichzelf natuurlijk geen ramp. Wel vervelend is dat over deze weerstand eeningangsspanning van 17 volt moet verschijnen om alle LED's te sturen. Door de weerstand vloeit dus een flinke stroom.

Als men verder weet dat een normale gelijkrichter, zoals gebruikt in een normale VU-meter, zeer zeker niet in staat is een zo kleine weerstand van voldoende signaal te voorzien, worden de moeilijkheden duidelijk. Met andere woorden, tussen de gelijkrichter en de LED-schakeling moet een tussentrap komen, met een hoge ingangsweerstand (de gelijkrichter wordt dan niet belast) en een lage uitgangsweerstand (de 220 ohm van R12).

Deze trap wordt in de volgende paragraaf besproken.

## DE DARLINGTON

De kreten „hoge ingangsweerstand, lage uitgangsweerstand” zullen bekend in de oren klinken.

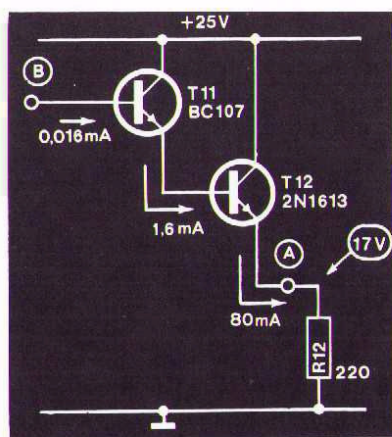
Aan deze voorwaarde wordt immers voldaan door een emittervolger. Een emittervolger is opgebouwd uit een transistor, waarvan de kollektor rechtstreeks aan de voeding ligt en de belastingsweerstand in de emitter staat. Nu is zo'n schakeling toch nog niet in staat de nodige 17 volt over een weerstand van slechts 220 ohm in stand te houden. Gelukkig kan men een beroep doen op het sterkere broertje van de emittervolger, de darlington.

Een darlington is niets anders dan twee emittervolgers achter elkaar geschakeld.

In figuur 13 is deze schakeling getekend.

De transistor T12 is de reeds bekende emittervolger. Zijn soortgenoot T11 stuurt rechtstreeks de basis van T12.

Het voordeel van deze combinatie wordt verduidelijkt aan de hand van een rekenvoorbeeldje. Om over de weerstand R12 van 220 ohm een spanning van 17 volt op te bouwen is een stroom van ongeveer 80 milli-ampere nodig. Dit lijkt niet zoveel, maar voor transistor-schakelingen is dit een fikse stroom. Als we aannemen, dat de versterkingsfaktor van T12 (type 2 N 1613) bij deze stroom gelijk is aan 50, dan moet er een stroom van 80 milli-ampere gedeeld door 50 is



Figuur 13. Een darlington-schakeling. De totale stroomversterking is gelijk aan het produkt van de stroomversterkingen van de individuele transistoren. Door deze hoge totale stroomversterking zal de ingangsstroom zeer klein zijn, terwijl de schakeling toch een hoge stroom door de emitterweerstand kan jagen.



1,6 milli-ampere in de basis vloeien. Uit de schakeling volgt, dat deze stroom eveneens de kollektorstroom van transistor T11 is. Met een dergelijke stroom heeft een halfgeleider, die naam waardig, natuurlijk niet de minste moeite. Als we voor de eenvoud de versterkingsfaktor van T11 gelijkstellen aan 100, dan is de basisstroom dus 0,016 milli-ampere.

Deze stroom kan zonder meer rechtstreeks worden afgenomen uit de gelijkrichter, die aan de darlington voorafgaat.

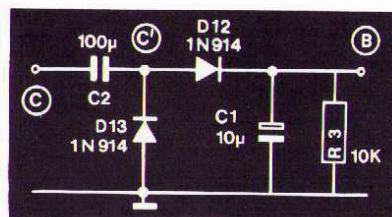
## DE GELIJKRICHTER

De gelijkrichter, getekend in figuur 14, is als het ware het hart van iedere VU-meter.

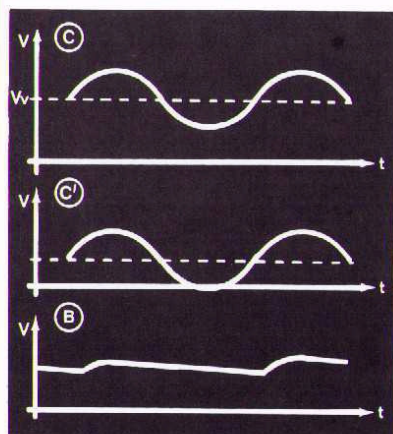
Aan de ingang van de schakeling, punt C dus, wordt het versterkte ingangssignaal aangelegd. De taak van de schakeling is, uit deze wisselspanning een zo groot mogelijke gelijkspanning af te leiden. Dat proces geschiedt in twee stappen. Men mag niet uit het oog verliezen dat de versterkte ingangsspanning afkomstig is van een versterker en dus op een bepaalde gelijkspanning gesuperponeerd is: de instelspanning van de versterker.

In de grafieken van figuur 15 is de werking van de schakeling grafisch voorgesteld. In de bovenste grafiek ziet men de ingangsspanning, zoals die door de versterker wordt geleverd. De sinussen van het signaal slingeren niet rond het nulpotentiala, zoals gebruikelijk bij een wisselspanning, maar rond een bepaalde spanning  $V_v$ , gelijk aan de helft van de voedingsspanning. Niet alleen moet deze gelijkspanning gescheiden worden van de signaalspanning, maar bovendien moet die signaalspanning zo bewerkt worden, dat ze niet negatief wordt. Dit gebeurt door de onderdelen C2 en D13. De condensator C2 houdt de gelijkspanning tegen; de diode zorgt voor de tweede eis. Als de spanning op punt C' negatief zou willen worden, dan gaat de diode geleiden. De negatieve spanning op de rechterplaat van de condensator vloeit dan af naar massa. Doordat een diode een bepaalde spanning nodig heeft, voordat ze aan geleiding begint te denken (0,7 volt), zal de spanning op punt C' gefixeerd, geklampt worden op  $-0,7$  volt. De maksimum positieve spanning op dit punt is uiteraard afhankelijk van de grootte van de signaalspanning.

Deze zo goed als volledig positieve spanning wordt nu

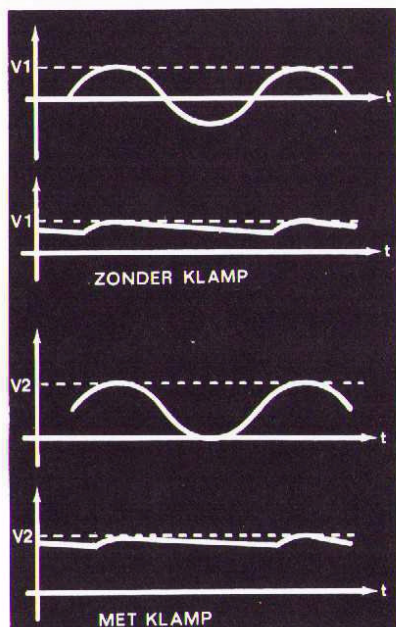
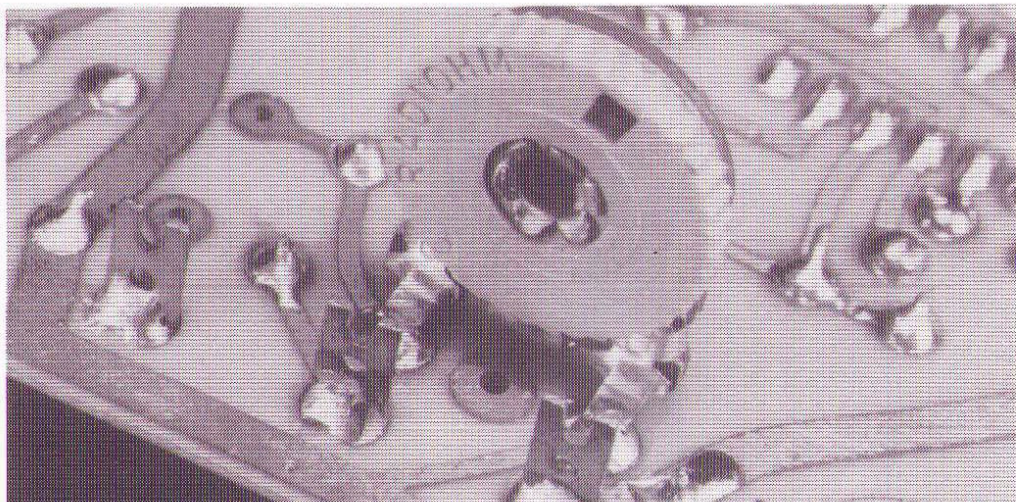


Figuur 14. Het hart van iedere VU-meter is deze combinatie van een klampkring en de bekende enkelfazige gelijkrichterschakeling.



Figuur 15. De spanningvormen op de verschillende punten van de schakeling van figuur 14.





Figuur 16. Het nut van de klampkring blijkt uit deze grafieken. In de twee bovenste grafieken is het spanningsverloop zonder klampkring getekend; in de twee onderste grafieken het spanningsverloop met klampkring. Duidelijk blijkt dat in het tweede geval een grotere gelijkspanning uit de ter beschikking staande wisselspanning afgeleid kan worden.

gelijkgericht door de kring D12-C1. De gelijkspanning op punt B is dus, wat grootte betreft, afhankelijk van de grootte van de signaalspanning.

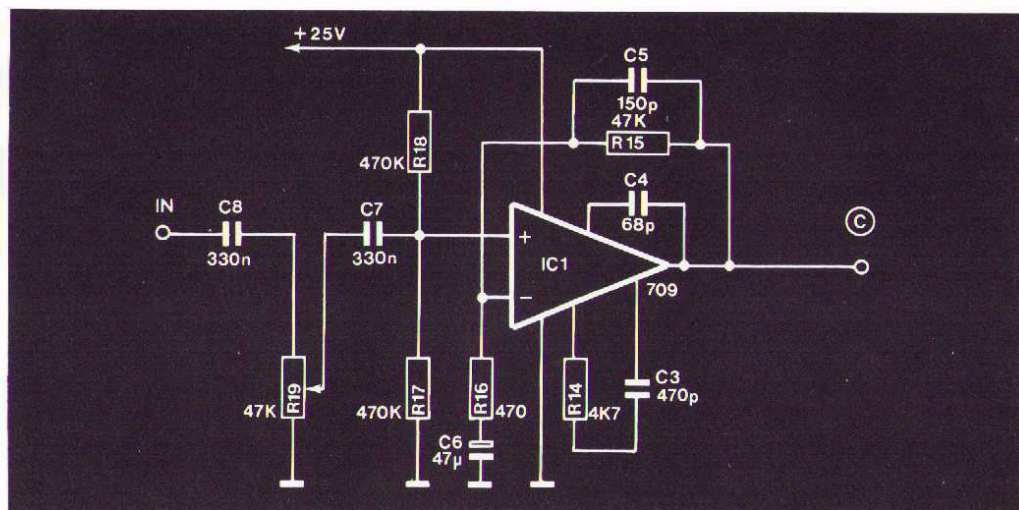
Misschien is het nog niet voor iedereen duidelijk wat nou eigenlijk het nut is van die klamp-kring. Dit wordt verduidelijkt aan de hand van de grafieken van figuur 16.

Zonder de klamp-kring zou de spanning op punt C' rond het nulpunt schommelen, zoals getekend is in de eerste grafiek. Als men dan deze spanning zou gaan gelijkrichten, dan zou alleen de positieve helft van de sinussen gelijkgericht worden. De nuttige gelijkspanning, afgeleid uit een signaal met een bepaalde grootte, zou dan maar de helft zijn van de gelijkspanning, afgeleid uit een op nul geklamps signaalspanning.

Tot slot rest ons de functie van weerstand R13 te verklaren. Deze weerstand staat parallel over de kondensator C1 en zal dit onderdeel uiteraard ontladen. De grootte van de weerstand bepaalt de ontladings-tijd van de kondensator.

Zoals gezegd zal de spanning over kondensator C1 evenredig variëren met de grootte van het wisselspanningssignaal aan de ingang van de VU-meter. Als dit ingangssignaal een plotse piek levert, dan zal de gelijkspanning over de elko even plots stijgen. De schakeling van de meter reageert dus erg snel op plotse signaalspieken. De weerstand R13 zorgt er nu voor, dat deze grote gelijkspanning in een redelijke tijd verdwijnt. Zou men de kondensator C1 niet door middel





van deze weerstand ontladen, dan zou de grote gelijkspanning, gevolg van een signaalpiek, over de elko blijven staan, zodat de meter niet meer terug zou vallen naar een lagere dB-waarde die aan de ingang aanwezig is na de piek.

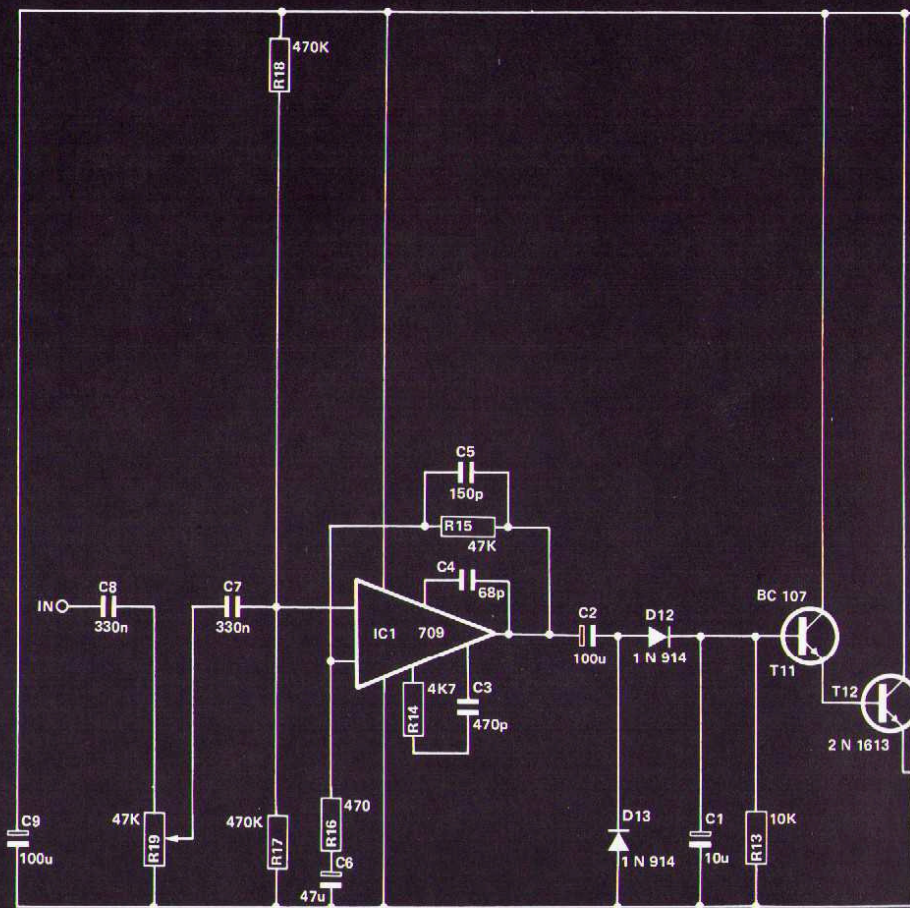
## DE VERSTERKER

Een van de nadelen van dit LED-systeem is, zoals reeds gezegd, dat men een stuurspanning van 17 volt nodig heeft. Als men rekening houdt met allerlei verliezen over geleidende diodes en transistoren, dan moet op punt C een signaalspanning met een top-tot-top-waarde van 20 volt ter beschikking staan. Er moet dus flink versterkt worden. Als men er verder rekening mee houdt dat de voedingsspanning slechts 25 volt is (toch al een hoge waarde), dan is het duidelijk dat men niet veel ontwerp-speling heeft bij deze versterker.

Om alle moeilijkheden te omzeilen is gebruik gemaakt van een versterker, opgebouwd met een operationele versterker. Het schema is getekend in figuur 17.

De operationele versterker is geschakeld als niet-inverterende versterkertrap, met een versterking van 100. De op-amp wordt uit een positieve voedingsspanning gevoed. De positieve ingang wordt door middel van een spanningsdeler op de halve voedingsspanning ingesteld. Op deze manier zal ook de uitgangsspanning variëren rond de halve voedingsspanning, zodat de trap maximaal uitgestuurd kan worden.

Figuur 17. De versterkertrap van het systeem is opgebouwd met een geïntegreerde operationele versterker.

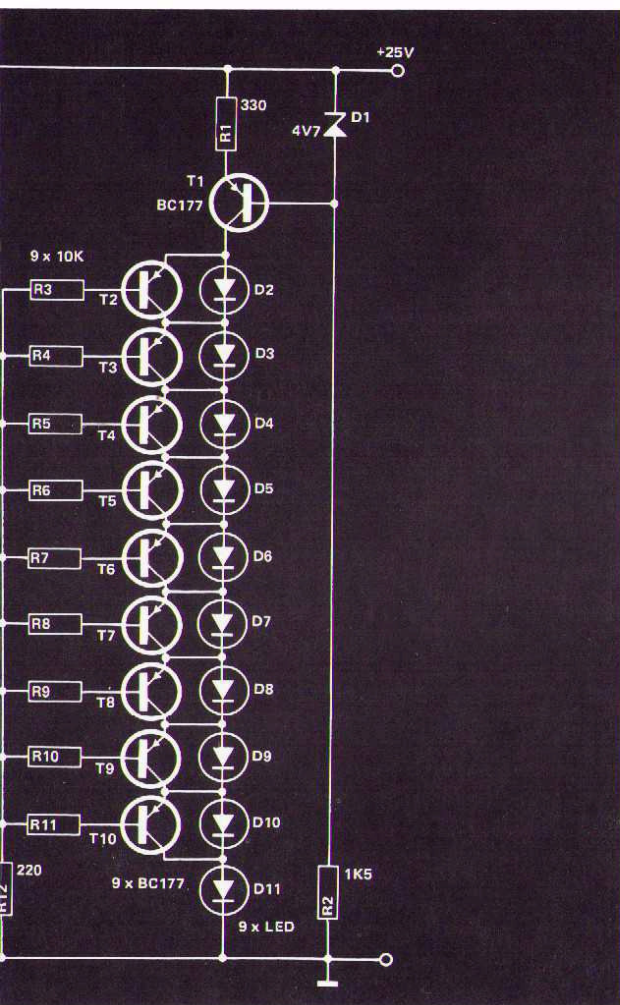


Figuur 18. Het volledige schema van de LED-VU-meter.

De condensator C6 zorgt ervoor, dat ook de invertende ingang van de op-amp op de halve voedingsspanning wordt ingesteld. De versterking wordt bepaald door de verhouding van de weerstanden R15 en R16. De condensatoren C3, C4 en C5 en de weerstand R14 zorgen ervoor, dat de op-amp niet kan oscilleren. Zij beperken als het ware de bandbreedte van de versterker tot de noodzakelijke band van het geluidsgebied.

De ingangsspanning wordt via twee scheidingscondensatoren C7 en C8 en een instelpotmeter R19 aan de positieve ingang van de op-amp aangeboden.



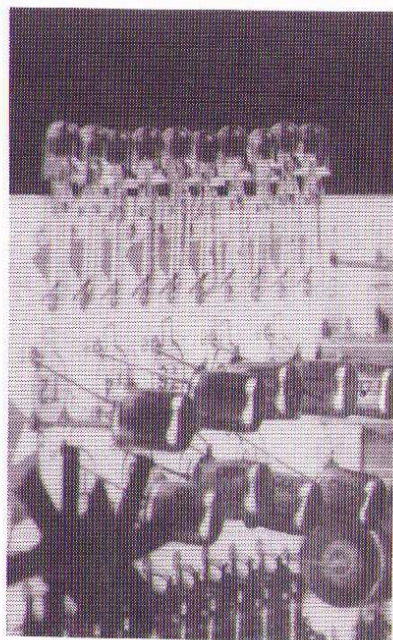


## HET VOLLEDIGE SCHEMA VAN DE LED-VU-METER

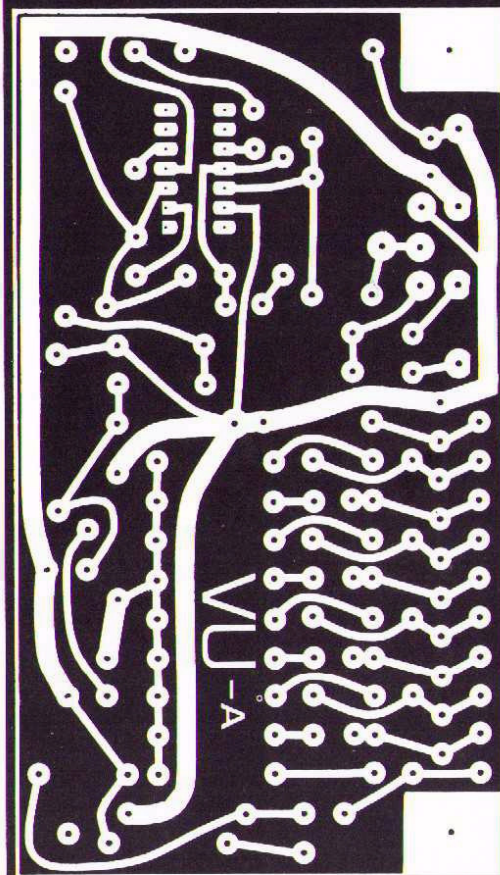
Figuur 18 geeft het volledige praktische schema van de LED-VU-meter.

De verschillende besproken blokken zijn op een logische manier achter elkaar gekoppeld, zonder ekstra's.

De enige aanvulling is de condensator C9, een grote elko die tussen de voeding en de massa geschakeld is. Dit onderdeel zorgt voor de noodzakelijke ont koppeling van de voedingsspanning, bij dit moduul met haar relatief grote stroomopname geen overbodige luukse.

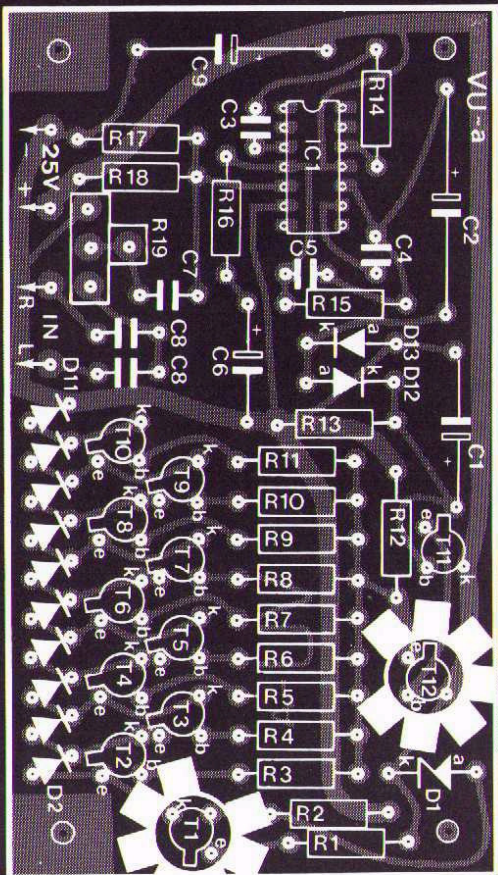






Figuur 19. De print van de VU-meter, volledig aangepast aan de opname in het laagfrequent-moduulsysteem.

Figuur 20. De algemene bestukking van de print. Op enige dingen moet men letten, omdat enige onderdelen elders thuis horen als de print voor het tweede kanaal opgebouwd wordt.



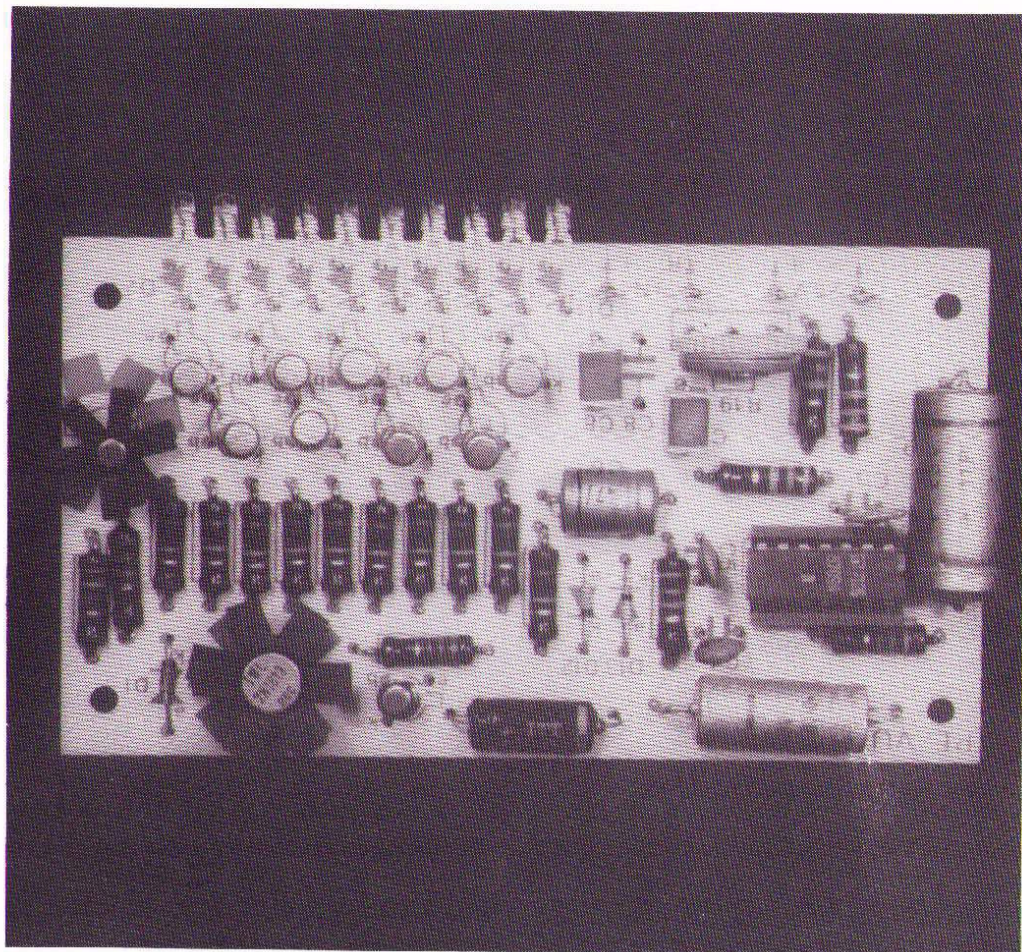
## DE BOUW

Uiteraard hebben wij de opbouw van de print aangepast aan het moduulsysteem, zodat de VU-meter probleemloos gekombineerd kan worden met de overige modules.

Dit edele streven had wel enige konsekventies voor het printontwerp. Zo was het ten eerste niet mogelijk een print te gebruiken voor beide stereo-kanalen. Een print bevat dus een VU-meter.

Ten tweede bleek het ook niet mogelijk de opbouw van de overige modules te volgen, dus de print parallel op het frontplaatje geschroefd. Hoe het wel geworden is, leren de verschillende foto's bij dit artikel. De print is getekend in figuur 19. Bij het bestukken





van deze print volgens figuur 20 moet met enige dingen rekening gehouden worden. In de eerste plaats is de print aangepast aan de afmetingen van miniatuur-LED's met een diameter van ongeveer 3 mm. Grotere LED's komen in de verdrukking.

De bedoeling is, dat alle LED's netjes op een rijtje komen en door de gaatjes in het frontplaatje steken. Monteer de LED's met de nodige zorgvuldigheid. Test ook wat de katode en wat de anode is. Meestal is de afgeplatte kant van het huisje of de kórtste aansluiting de katode. Het is ons gebleken dat de afmetingen van de LED's niet allemaal precies gelijk zijn. Bij de montage op de print moet men er op letten, dat de toppen van alle diodes even ver van de printrand



## ONDERDELENLIJST

### WEERSTANDEN:

R 1 = 330 ohm, 1/4 watt  
R 2 = 1,5 k-ohm, 1/4 watt  
R 3 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 4 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 5 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 6 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 7 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 8 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 9 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 10 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 11 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 12 = 220 ohm, 1/2 watt  
R 13 = 10 k-ohm, 1/4 watt  
R 14 = 4,7 k-ohm, 1/4 watt  
R 15 = 47 k-ohm, 1/4 watt  
R 16 = 470 ohm, 1/4 watt  
R 17 = 470 k-ohm, 1/4 watt  
R 18 = 470 k-ohm, 1/4 watt  
R 19 = 47 k-ohm, trimmer  
staand 5 x 10 mm

### KONDENSATOREN:

C 1 = 10 uF, 25 V liggend

C 2 = 100 uF, 25 V liggend  
C 3 = 470 pF, keramisch  
C 4 = 68 pF, keramisch  
C 5 = 150 pF, keramisch  
C 6 = 47 uF, 25 V liggend  
C 7 = 330 nF, MKM  
C 8 = 330 nF, MKM  
C 9 = 100 uF, 25 V liggend

### HALFGELEIDERS:

D 1 = 4,7 V 400 mW zener  
D 2 = LED 3 mm rood  
D 3 = LED 3 mm rood  
D 4 = LED 3 mm geel  
D 5 = LED 3 mm groen  
D 6 = LED 3 mm groen  
D 7 = LED 3 mm groen  
D 8 = LED 3 mm groen  
D 9 = LED 3 mm groen  
D 10 = LED 3 mm groen  
D 11 = LED 3 mm groen  
D 12 = 1 N 914  
D 13 = 1 N 914  
T 1 = BC 177  
T 2 = BC 177  
T 3 = BC 177

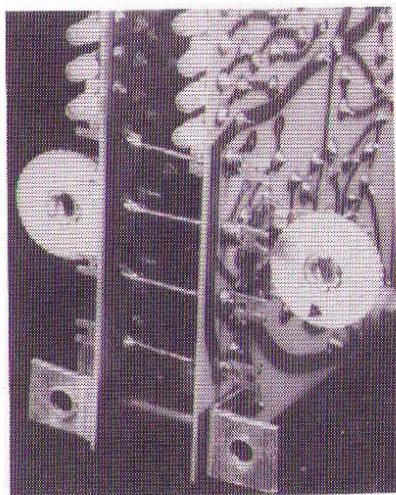
T 4 = BC 177  
T 5 = BC 177  
T 6 = BC 177  
T 7 = BC 177  
T 8 = BC 177  
T 9 = BC 177  
T 10 = BC 177  
T 11 = BC 107  
T 12 = 2 N 1613  
IC 1 = 709, dil

### DIVERSEN:

1 x print VU-a  
1 x frontplaatje FP-VU-a  
1 x koelsterretje voor TO-18  
1 x koelsterretje voor TO-39  
4 x printsoldeerlipjes

### MONTAGEONDERDELEN VOOR STEREOSISTEEM

4 x M 3 x 15 schroeven  
4 x M 3 x 30 schroeven  
4 x 15 mm afstandsbusjes  
12 x M 3 moertjes  
4 x bevestigingshoekjes,  
1 x 1 cm



zitten.

De montage van de meeste overige onderdelen zal geen problemen opleveren. Let wel op de juiste positie van de operationele versterker en koop een IC in dual-in-line-behuizing. De 2 N 1613 en de transistor van de konstante stroombron moeten voorzien worden van een koelsterretje, aangepast aan de grootte van de halfgeleider.

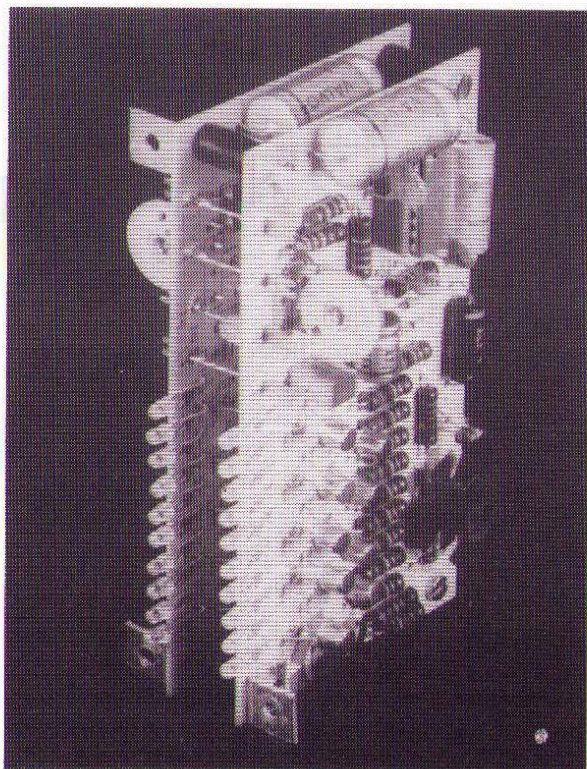
Enige opmerkingen zijn nog nodig.

Op figuur 20 zult u opmerken dat er voor de ingangskondensator C8 twee plaatsen voorzien zijn. De juiste plaats is afhankelijk van het kanaal waarvoor de VU-meter gebruikt wordt. In figuur 21 is dit nog eens ekstra getekend.

Ook de instelpotmeter verhuist naar een andere plaats als men de VU-meter voor het andere kanaal gebruikt. In dat geval moet de trimmer namelijk langs de koperzijde op de print gesoldeerd worden. De foto's maken een en ander duidelijk.

De printsoldeerlipjes zitten bij de rechter print (die





waarbij de potmeter op de koperzijde staat) op de normale plaats, dus op het koper. Bij de linker print worden de soldeerlipjes op de componentenzijde gemonteerd.

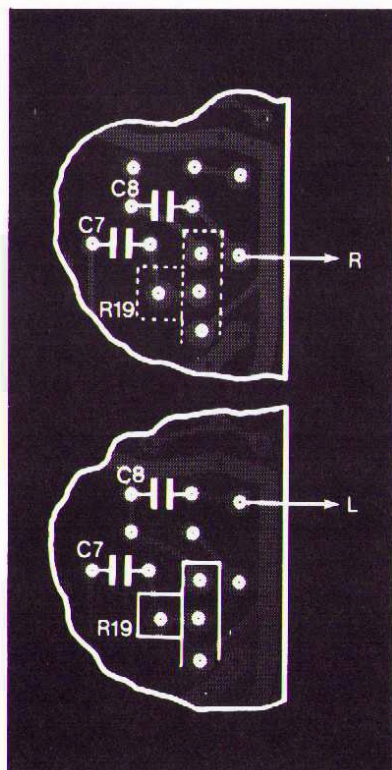
### DE MODUUL-OPBOUW

Beide printjes worden met 15 mm lange afstandsbusjes aan elkaar bevestigd. Onder de bevestigingsschroeven worden L-vormige aluminium beugeltjes bevestigd, waarmee de printencombinatie op het frontpaneeltje geschroefd wordt.

De elektrische verbindingen tussen beide prints kunnen uitgevoerd worden door middel van 4 kleine stevige draadjes. Deze draadjes worden bij de linker print op de soldeereilandjes van de print gesoldeerd en op de rechter op de uitstekende uiteinden van de soldeerpennetjes.

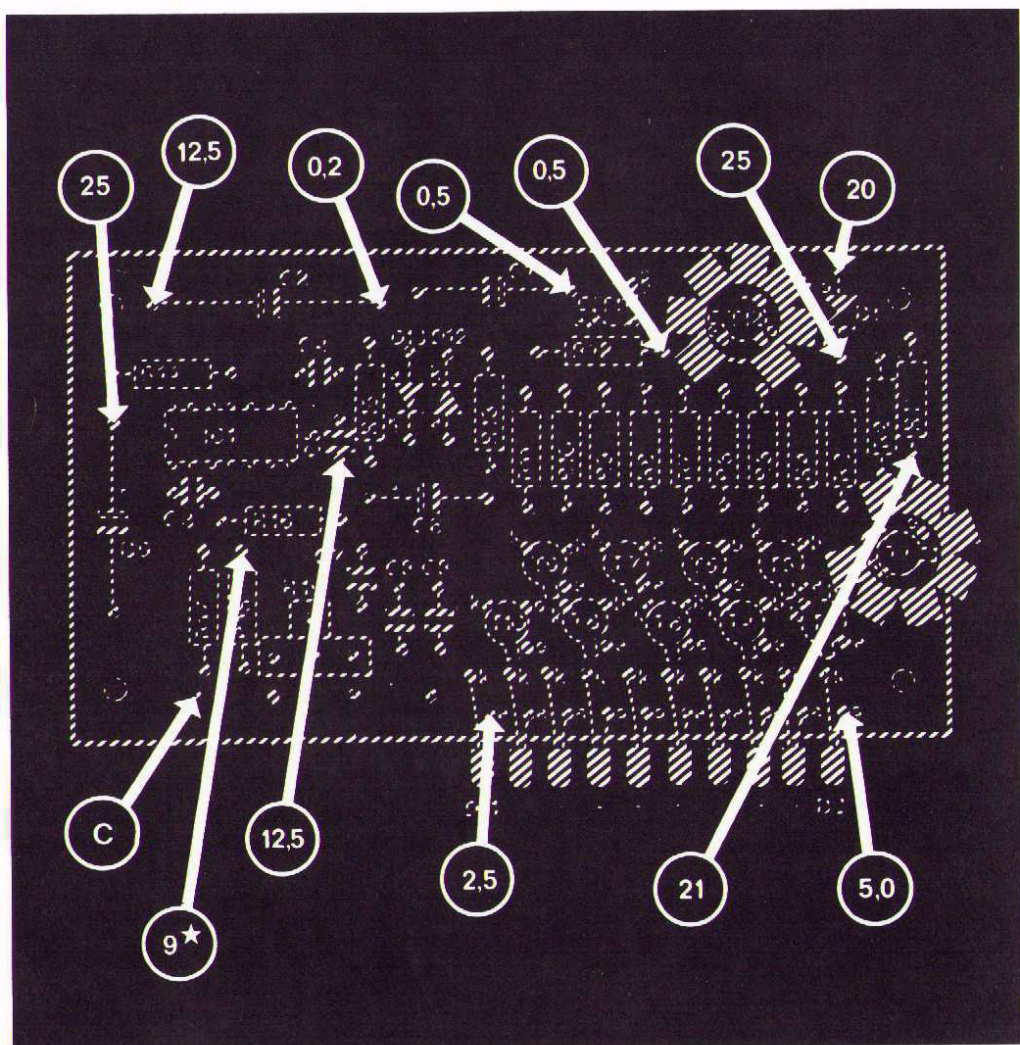
### HET GEBRUIK

Als men dit moduul samen met andere modules ge-



Figuur 21. De plaats van de condensator C8 op de print is afhankelijk van het kanaal waarvan men de uitgangsspanning wil controleren. Boven voor het linker kanaal, onder voor het rechterkanaal.





Figuur 22. De spanningsplattegrond van de print. Alle spanningen zijn gemeten zonder signaal aan de ingang, met een voedingsspanning van eksakt 25 volt en met een universeelmeter met een gevoeligheid van 20 kilo-ohm per volt.

bruikt, dan volstaat het de vier aansluitingen van dit moduul te verbinden met de op dezelfde plaats staande aansluitingen van de overige modulen.

Met de beide trimpotmetertjes kan men de gevoeligheid van de meter aanpassen aan de beschikbare uitgangsspanning. Het is de bedoeling dat deze potmeter-tjes zo worden afgeregeld dat, als er een bepaald maksimumsignaal aan de ingang wordt gelegd, alle LED-jes tot en met het gele oplichten. Als dan de zaak overstuurd wordt, dan gaan de rode LED's oplichten en ziet men dadelijk dat er wat mis is.



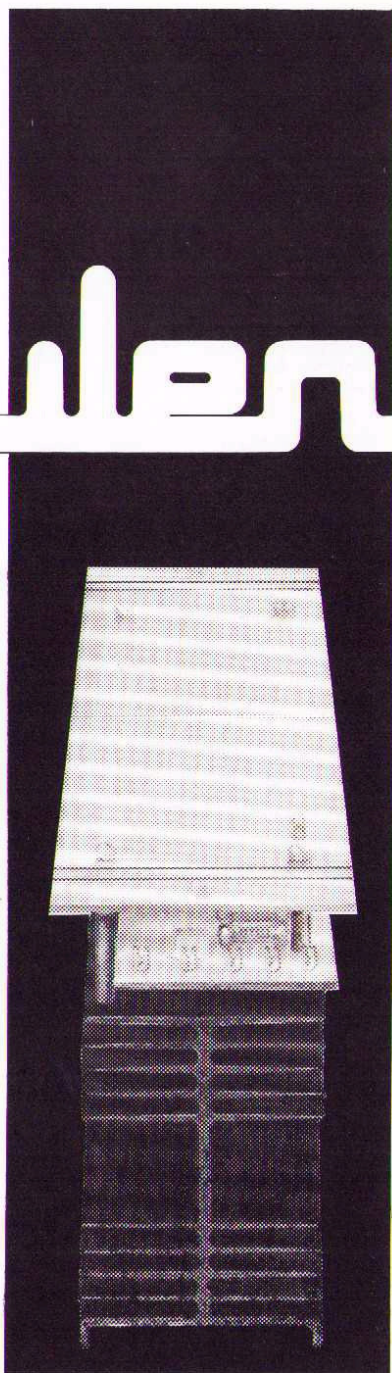
# 50 watter

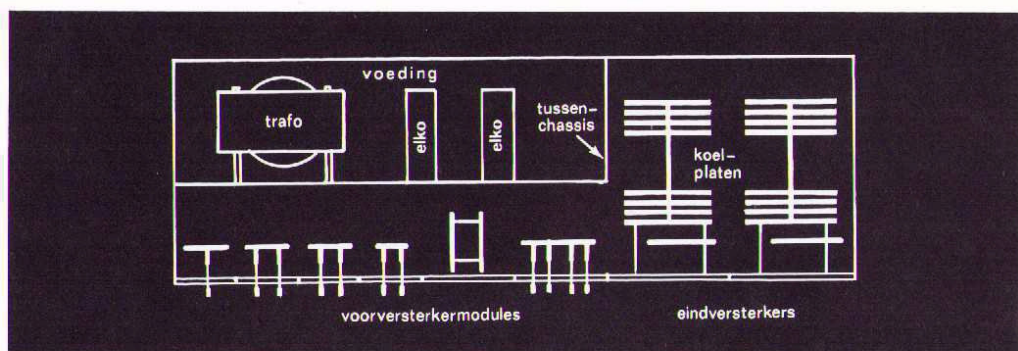
# Modulen

Het opnemen van een vermogens eindversterker in een moduulsysteem is niet zo eenvoudig. Eindversterkers, immers, zijn schakelingen die vrij omvangrijk zijn, niet in de laatste plaats door de nodige koeling van de eindversterker transistoren.

De in dit boek beschreven modules hebben bepaalde standaard afmetingen. Zo zijn alle prints, dat heeft U misschien al gemerkt, precies 11 centimeter hoog. De breedte van de modules wordt bepaald door de door de schakeling opgedrongen hoeveelheid onderdelen. Het is zo goed als onmogelijk een „klassieke” eindversterker, opgebouwd uit condensatoren, weerstanden, diodes en transistoren, op de gegeven beperkte ruimte onder te brengen. De koeling van de eindtransistoren zou alleen al meer plaats op de print innemen dan voorradig is.

We hebben dan ook volledig nieuwe paden bewandeld. De eindversterker voor dit moduulsysteem is opgebouwd rond een zogenaamde hybride-versterker. Dat is een klein zwart doosje, waarin alle weerstanden, diodes en transistoren, voor de opbouw van een eindversterker noodzakelijk, in een zeer kleine ruimte op een koelplaat zijn ondergebracht. De ekstra onderdelen kunnen dan op een zeer klein printplaatje geplaatst worden. Er is op de print zelfs plaats voor het opbouwen van enige ekstra snufjes. Zo is deze 50 watt versterker in moduultechniek voorzien van oversturings-indikatie, die het te zwaar belasten van de versterker meldt door het laten oplichten van twee kleine lichtgevende diodes.





Figuur 1. Een suggestie voor de opbouw van een laagfrequent versterker met de moduulschakelingen. De plaats achter de platte regelmodulen kan opgevuld worden met de relatief veel plaats vergende voeding voor de eindversterkers.

## INLEIDING

Alvorens in te gaan op de elektronika van deze schakeling, enige woorden over de ontwerpfilosofie. Het ontwerp moest passen in de reeks moduulschakelingen. Deze modulen bestaan uit een frontplaatje met een hoogte van 13,2 centimeter en een zo klein mogelijke breedte. Ook de diepte hangt af van de uitbreidbaarheid van de schakeling.

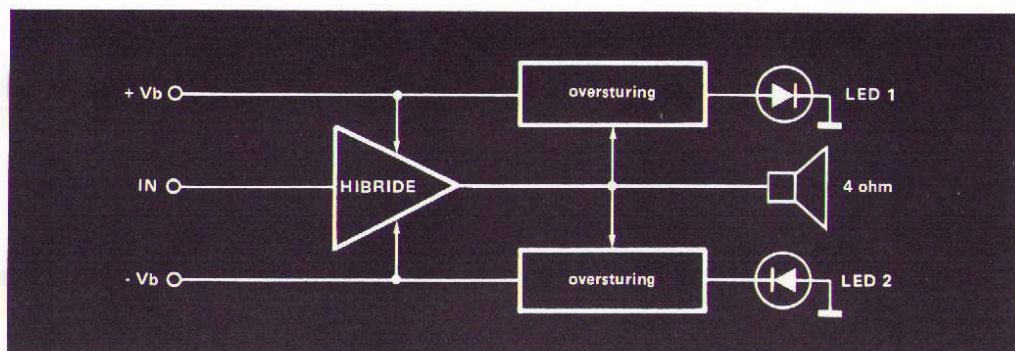
De eindversterker moet dus ook een frontplaatje van 13,2 centimeter hoogte krijgen en een zo klein mogelijke breedte. In feite kan men dus alleen in de diepte ongebreidelde ekspanderen. Na enig gepeins zijn we tot een zeer bevredigende en zelfs originele oplossing gekomen.

De schakeling wordt op een klein printje van 11 bij 5 centimeter ondergebracht. Het hibride, dat tien aansluitingen heeft, wordt nu aan de koperzijde van de print met de printsporen verbonden. De print wordt, samen met het hibride, op een grote koelplaat geschroefd. Dit is een koelplaat met kodenummer SK 34 en een lengte van 10 centimeter. Het originele in het ontwerp is nu, dat het hibride niet op de normale plaats, dus in het vlak tussen de koelribben, op het koelprofiel wordt geschroefd, maar op een van de buitenste ribben. In deze rib worden nog vier andere gaten geboord, waarmee het moduul door middel van lange schroeven en afstandsbusen op het frontplaatje wordt bevestigd.

De totale diepte van het compleet gemonteerde moduul wordt zodoende niet minder dan 14,5 centimeter, maar dat zal eenieder natuurlijk een zorg wezen. De modulen worden toch ingebouwd in een kast en de diepte van die kast is niet kritisch.

Bovendien kan de plaats achter de veel ondiepere ove-





rige modules gebruikt worden voor het installeren van de voeding van de eindversterker. Een mogelijke opbouw is geschetst in figuur 1.

De voeding kan gemonteerd worden op een tussen-chassis, waardoor veel plaats bespaard wordt en de ruimte in de kast op een bevredigende manier wordt opgevuld.

De voorgestelde bouw heeft nog een ander voordeel. Duidelijk blijkt, dat de koelribben van de eindversterkermodule vertikaal gericht zijn. De lucht kan dus ongehinderd voor verkoeling zorgen, als tenminste in de boven- en onderzijde van de kast koelgaten of gleuven worden aangebracht.

## HET BLOKSCHEMA

Figuur 2 geeft het blokschema van de eindversterker. De eigenlijke eindversterker is, zoals reeds vermeld in de ondertitel van dit hoofdstuk, opgebouwd rond een hybride-schakeling. Slechts enige condensatoren en een zekering zijn noodzakelijk voor het aan de praat brengen van de schakeling.

Omdat de toegepaste hybride niet bestand is tegen langdurige overbelastingen hebben wij een vrij complexe oversturings-detectie ingebouwd. Deze schakeling bevat meer onderdelen dan de echte eindversterker! Deze hulpschakeling is opgesplitst in twee delen. Een deel spoort positieve oversturingen op en indiqueert die door het laten oplichten van een LED 1, een tweede deel doet hetzelfde voor negatieve oversturingen, door middel van de tweede LED.

In de volgende paragrafen zullen we de verschillende delen van het blokschema behandelen. Maar omdat deze versterker is uitgerust met een niet zo koerant gebruikt onderdeel, namelijk een hybride, zullen we

Figuur 2. Het blokschema van de 50 watt versterker in moduultechniek. De schakeling wordt, anders dan de overige modules, gevoed uit twee symmetrische spanningen. De door een driehoek ingesloten „hibride” is de echte versterker. Deze stuurt maximaal 50 watt in een 4 ohm luidspreker. De twee oversturings-schakelingen zullen positieve en negatieve overbelastingen van de versterker detecteren en, als zoiets gebeurt, twee LED-jes aan het branden zetten.

de eerstvolgende paragraaf wijden aan de bespreking van dit onderdeel.

### DE SPH 036 HIBRIDE

Uit het grote aanbod aan hybrideschakelingen voor eindversterkers hebben we het tipe SPH 036 uitgekozen van de firma Silicon International, omdat dit moduul goed verkrijgbaar is en de beste prijs/vermogenspecificaties heeft van alle hybrides die we konden opsporen.

De reeks hybrides van Silicon International wordt in Nederland vertegenwoordigd door de firma Skilttronics (Leeuwarden) en bestaat uit 13 types, variërend in vermogen van 10 tot 100 watt.

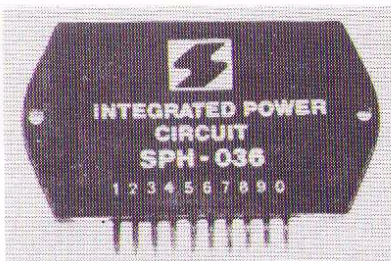
De schakelingen zijn ondergebracht in zwarte huisjes van 3 bij 6 centimeter tot 5 bij 9 centimeter. Alle modulen hebben 10 aansluitingen (uitgezonderd het 100 watt tipe), die netjes op een rijtje staan op een onderlinge afstand van 4 millimeter. Figuur 3 geeft een indruk van het uiterlijk van het door ons uitverkoren en door u toe te passen moduul.

De modulen hebben een zware metalen rugplaat, die geen elektrisch contact maakt met enige aansluiting en die door middel van twee schroeven op een koelplaat bevestigd kan worden.

In de uitvoerige dokumentatie van de fabrikant wordt niet gerept over de schakelingen van de verschillende modulen. Aan de hand van de verschillende aansluit-schema's kan wel gekonkludeerd worden, dat de modulen zijn opgebouwd uit een verschilversterker aan de ingang. Een van de ingangen van deze versterker ontvangt het ingangssignaal, de andere wordt zowel intern als ekstern gebruikt voor het instellen van de terugkoppeling van de uitgang.

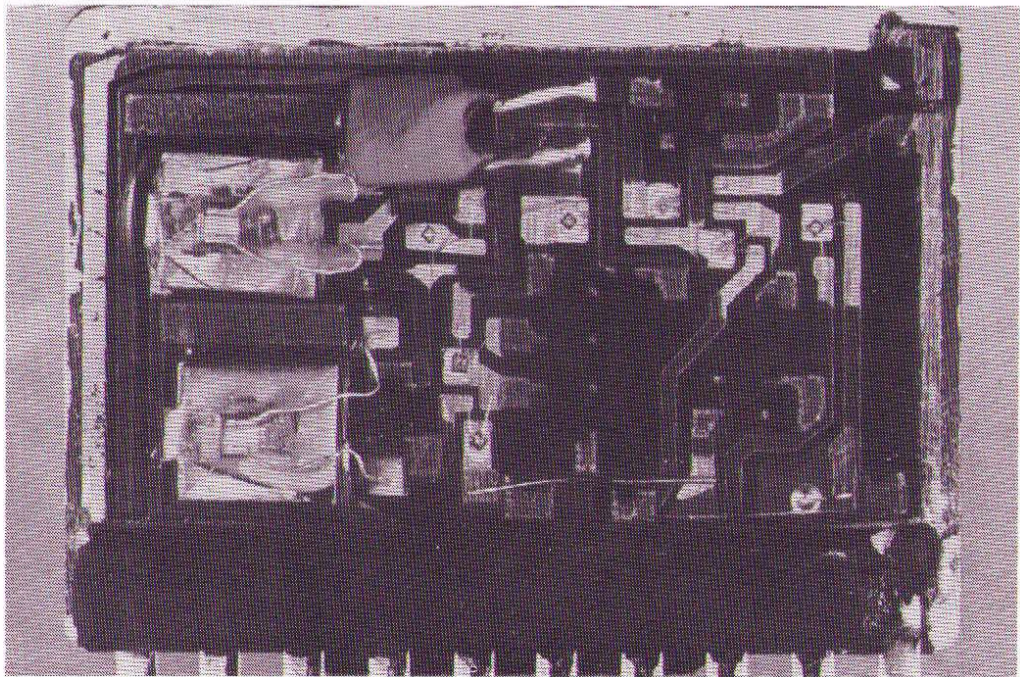
De eindtrap heeft, en dat is zeer belangrijk, geen ingebouwde stroombegrenzing. De modulen zijn dus niet kortsluitvast. Door de fabrikant wordt echter gegarandeerd, dat de modulen bestand zijn tegen kortsluitingen van enige sekonden. De zekering, die in de uitgang van de praktische schakeling is aangebracht, slaat dan wel door, zodat het geheel toch onbeschadigd mishandeling doorstaat. Wel is het moduul niet opgewassen tegen een langdurige overbelasting. Dat is dan ook de reden, dat wij onze 50 watt schakeling hebben voorzien van een oversturings-indikatie.

De schakelingen zijn opgebouwd op een met een dun



Figuur 3. De verschijningsvorm van het in deze schakeling gebruikte moduul SPH 036 van Silicon International.





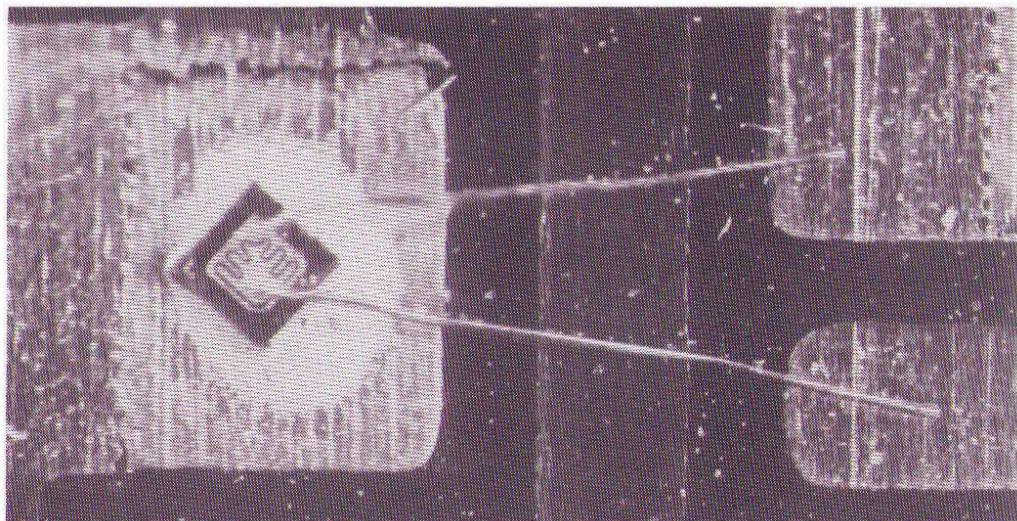
isolerend laagje aluminium-oxide beklede aluminium plaat. Op die laag oxide zijn alle onderdelen onder de vorm van een dikke-film schakeling aangebracht. Dat wil zeggen, dat bijvoorbeeld de weerstanden niet opgebouwd zijn onder de vorm van een staafje kool, maar als een film uit een of andere grondstof met een welbepaalde weerstand. Door middel van een uiterst fijne zandstraal worden deze weerstanden op de juiste waarde afgeregeld.

Alle laagvermogen halfgeleiders zijn onder de vorm van chips, dat wil zeggen zonder behuizing, aangebracht op de grondplaat. Daar de importeur ons een opengezaagd moduul ter beschikking stelde voor het maken van foto's, kunnen we bij dit hoofdstuk enige opnames van het inwendige afdrukken. De grote foto van figuur 4 geeft een overzicht van het inwendige van het gehele moduul. De detailfoto (figuur 5) toont zo'n transistor in chip-vorm. De transistor zelf is kleiner dan 1 millimeter. Deze transistor is door middel van twee uiterst dunne draadjes verbonden met twee kopersporen op een print.

De eindtransistoren, dat zijn er dus twee, zitten op koperen warmteverdelers die, de naam zegt het al, de

Figuur 4. Het inwendige van een SPH 020 moduul. Links de twee eindtransistoren, met daarnaast een klein condensatortje, dat waarschijnlijk gebruikt wordt ter vermindering van oscillaties en ter beperking van de bandbreedte.





Figuur 5. Een zeer grote vergroting van een van de transistoren in het moduul. De transistor-chip is rechtstreeks op een van de geleidende sporen op de grondplaat bevestigd. De twee overige contacten gaan door middel van uiterst dunne draadjes naar twee andere sporen. Duidelijk blijkt uit deze foto dat de verbindingen niet door middel van een soldeerproces tot stand zijn gebracht, maar door middel van ultrasone energie.

grote hoeveelheid warmte, die in de uiterst kleine eindtransistoren wordt opgewekt, zo snel mogelijk verspreiden over een groter oppervlak. Op de grote foto van het inwendige ziet men de eindtransistoren links. Daarnaast bevindt zich een kleine keramische condensator, waarschijnlijk gebruikt als oscillatie-onderdrukking.

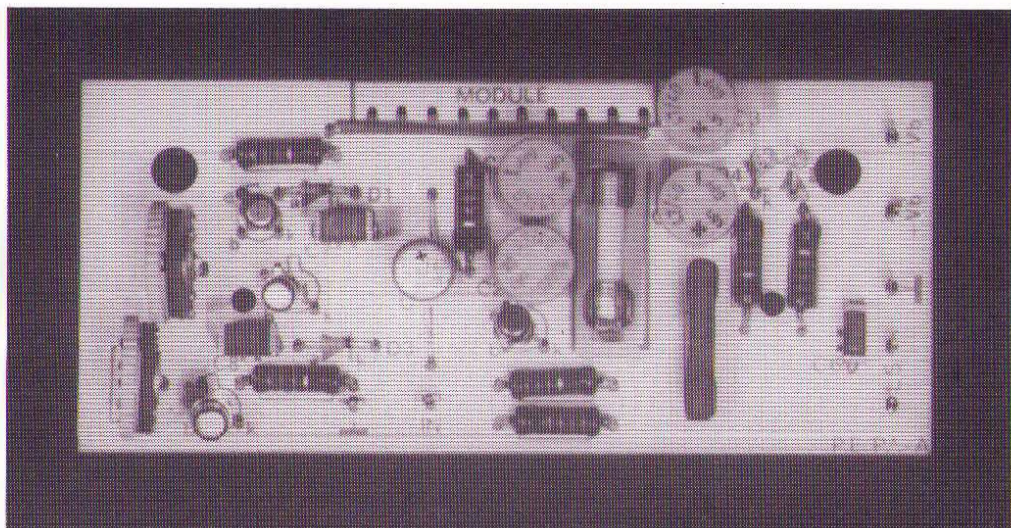
De gebruikte technologie heeft als gevolg, dat alle onderdelen dezelfde temperatuur hebben, zodat de termische stabiliteit van de versterker erg goed is.

## DE VERSTERKER

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen versterkers, die geschikt zijn voor symmetrische voeding en soortgenoten die slechts een voedingsspanning hebben en waarbij de luidspreker door middel van een scheidingscondensator met de hibride verbonden wordt.

Voor de lezers, die het schema van een eindversterker toevallig niet losjes in het hoofd hebben, wordt in figuur 6 even het verschil tussen beide systemen aangegeven. Bij een versterker met symmetrische voeding heeft men een positieve voedingsspanning  $+V_b$  nodig en een even grote negatieve voedingsspanning  $-V_b$ . De uitgang van de versterker zal, zonder signaal aan de ingang, gelijk zijn aan het massapotentiaal. De luidspreker is aangesloten tussen de uitgang van de versterker en de massa. Daar er dus in rust geen gelijk-



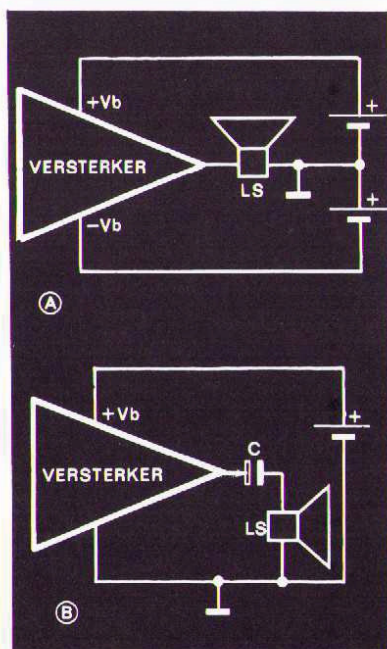


spanning op de uitgang staat, kan men de luidspreker rechtstreeks aan de uitgang leggen. Er vloeit in rust geen stroom door de luidspreker. De uitgangsspanning van de hibride varieert tussen de positieve en negatieve voedingsspanning.

Bij het systeem met enkele voeding heeft men slechts een positieve voedingsspanning nodig. Nu staat er zonder signaal aan de ingang een gelijkspanning op de uitgang van de versterker, die eksakt gelijk is aan de helft van die positieve voedingsspanning. De luidspreker kan dus niet rechtstreeks op de uitgang aangesloten worden: de halve voedingsspanning op die uitgang zou via de zeer lage weerstand afvloeien naar massa en zowel versterker als luidspreker beschadigen. Vandaar dat in serie met de luidspreker een grote elko wordt opgenomen, die wel de gelijkspanning op de uitgang, maar niet het geluidssignaal blokkeert.

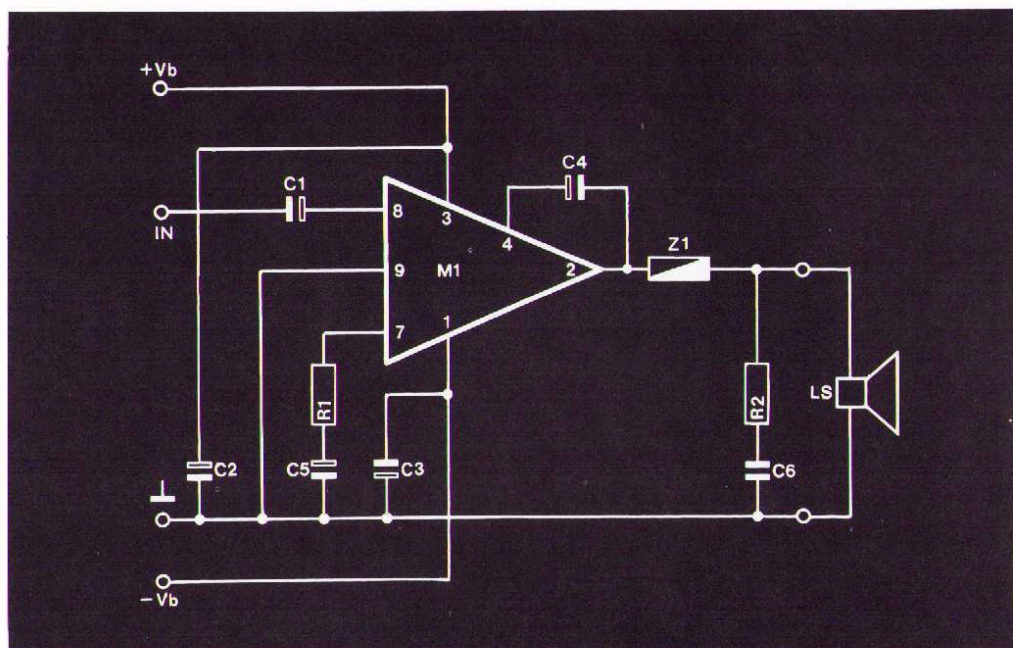
De versterkers met simmetrische voeding verdienen de voorkeur, daar niet alleen een grote elko wordt uitgespaard, maar bovendien de weergave en vervorming voor lage frekwenties veel beter zullen zijn. Vandaar dat onze versterker is uitgerust met een hibride voor simmetrische voeding.

In figuur 7 is het volledige schema van de versterker getekend. Naast de hibride heeft men dus slechts 8 eksterne onderdelen nodig, waarvan de meeste elko's zijn. De condensatoren C2 en C3 staan er, zou men geneigd zijn te denken, wat zielig bij. Immers, zij zijn



Figuur 6. Het principiële verschil tussen een eindversterker met simmetrische voeding en een met asimmetrische voeding blijkt uit deze tekeningen. De kwaliteit van het eerste soort is zonder meer veel beter, zeker wat betreft de weergave van de lage tonen.





Figuur 7. Het schema van de eigenlijke 50 watt versterker.

geschakeld tussen de twee voedingslijnen en de massa en staan dus parallel aan de 100 keer grotere afvlakelko's in de voeding. Wat maakt die 1 percent meer afvlakelko nou uit? Wel, heel wat. Niet de grootte van deze elko's speelt de voornaamste rol, maar wel de plaats waar zij in de schakeling zijn opgenomen. Deze twee elko'tjes moeten namelijk zo dicht mogelijk bij de voedingsaansluitingen van de hybride worden ondergebracht. Het is namelijk zo, dat dergelijke krachtige versterkers erg grote piekstromen uit de voeding kunnen halen. Piekstromen zijn stromen, die slechts een heel korte tijd vloeien, maar die korte levensduur vergoeden door erg groot te zijn. Verder is het duidelijk, dat de eindversterker op een bepaalde afstand van de voeding is opgesteld. Tussen beide blokken zitten dus vrij lange draden, die de voedingsspanning transporteren. Nou heeft iedere draad een bepaalde weerstand. De grote stroompieken zullen in de draadweerstand een bepaalde spanningsval veroorzaken, plus nog een heleboel nare verschijnselen, die iets te maken hebben met de reactie van die draadweerstand op het hoogfrequentie deel van zo'n plotse stroompiek. Het gevolg is, dat de uitgangsspanning van de versterker heel erg vreemd kan gaan doen. De twee

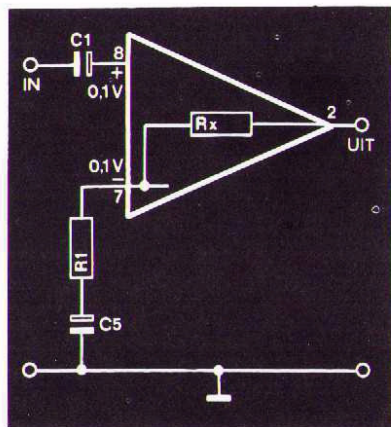


kleine elkootjes nu verhinderen deze uitspattingen. De ingangsspanning wordt via een scheidingskondensator C1 aan de ingang van de hibride (aansluiting 8) aangeboden. Door het met massa verbinden van aansluiting 9 wordt een weerstandje tussen de ingang en de massa geschakeld.

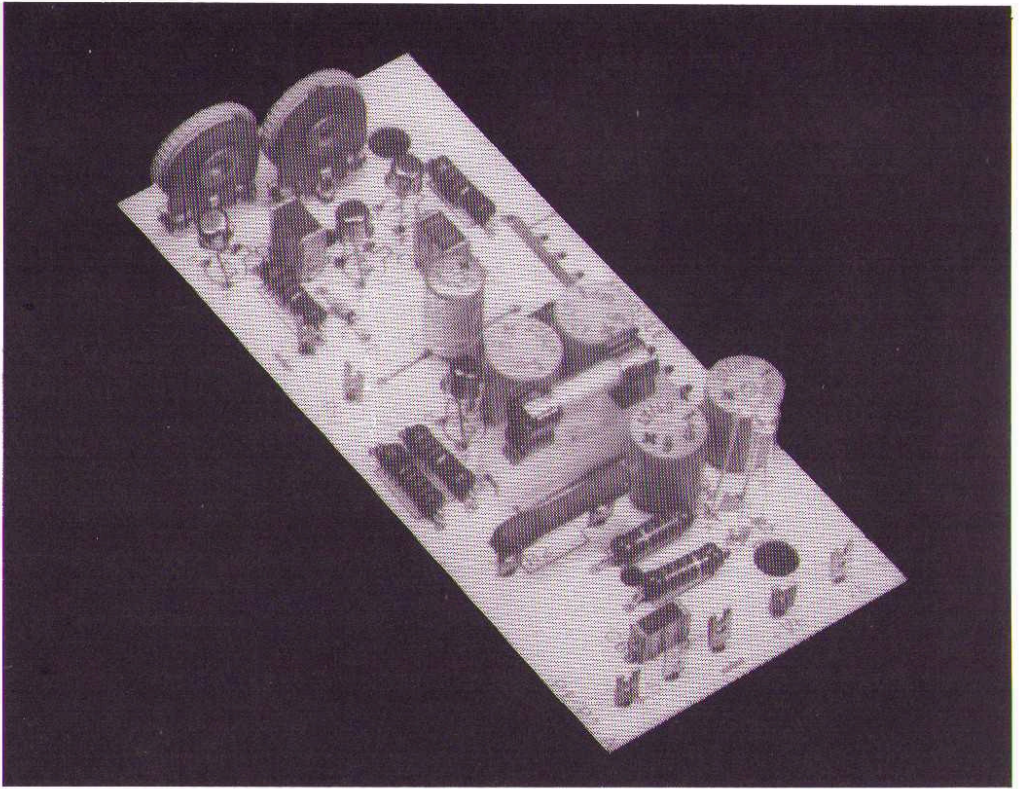
Het netwerkje tussen aansluiting 7 en de massa vormt een deel van de terugkoppeling. Intern ligt er zonder enige twijfel een weerstand tussen de uitgang en aansluiting 7.

De schakeling van dit moduul kan vergeleken worden met een teruggekoppelde operationele versterker. In figuur 8 is deze terugkoppeling nog eens getekend. Aansluiting 8 van het moduul kan vergeleken worden met de positieve ingang van een op-amp, aansluiting 7 met de negatieve ingang. Net zoals een op-amp zal ook deze versterker er naar streven, het spanningsverschil tussen beide ingangen gelijk aan nul te maken. Stel, dat op de niet-inverterende ingang een signaalspanning van 100 milli-volt wordt gezet. De versterker zal de uitgangsspanning dan zo groot maken, dat via de terugkoppeling (de interne  $R_x$  en de eksterne R1) evenveel signaal op de inverterende ingang belandt. Hieruit kan men besluiten, dat men de gevoeligheid van het moduul, dat is de ingangsspanning die aan de ingang van de schakeling aangeboden moet worden om het maximum vermogen aan de uitgang te krijgen, kan variëren door de waarde van de weerstand R1 aan te passen. Hoe groter men deze weerstand maakt, des te ongevoeliger zal de schakeling worden.

In de terugkoppellus is een elko in serie met de weerstand R1 opgenomen. Dank zij deze condensator wordt de versterking van de schakeling voor gelijkspanningen gelijk aan een. We hebben immers reeds gekonstateerd dat de versterking van de schakeling afneemt, als de waarde van de terugkoppelweerstand R1 vergroot wordt. De wisselstroomweerstand of impedantie van de condensator C5 is voor wisselspanningen te verwaarlozen ten opzichte van de waarde van R1. Voor een gelijkspanningssignaal heeft de condensator uiteraard een oneindig grote weerstand. Het lijkt dan net, of de serieschakeling van weerstand R1 en condensator C5 niet aanwezig is. De uitgang is dan rechtstreeks met de inverterende ingang verbonden door middel van de interne weerstand  $R_x$ . Uit de teo-



Figuur 8. De instelling van de versterking door middel van een terugkoppeling wordt hier nog eens duidelijk gemaakt. De weerstand  $R_x$  is ingebouwd in het moduul.



rie van de operationele versterkers is bekend, dat zo'n schakeling een versterking heeft, gelijk aan een.

Wat is nou de bedoeling van dit systeem? Wel, in de eerste plaats wordt voorkomen, dat door allerlei onvolmaaktheden in de schakeling er op de uitgang van de versterker een kleine gelijkspanning zal ontstaan.

Dat mag niet, want bij dit soort versterkers is de uitgang rechtstreeks verbonden met de luidspreker. Zo'n luidspreker heeft voor gelijkspanningen een zeer kleine weerstand, zodat de kleine gelijkspanning op de uitgang toch een vrij grote gelijkstroom door de speaker zou sturen. Deze onvolmaaktheden zullen sterker naar voren treden, als de versterking groter is. Vandaar, dat men de versterking voor gelijkspanningen gelijk maakt aan een.

In de tweede plaats zal de condensator de versterking voor de zeer lage frekwenties, de zogenaamde subsonische frekwenties, beperken. Op die manier zullen frekwenties onder 20 hertz verzwakt worden, en dat



is maar goed ook, want deze frekwenties maken toch geen deel uit van het normale muziekspektrum. Als ze dus ergens in een geluidsweergavesysteem ontstaan, dan worden zij veroorzaakt door gebreken aan de apparatuur, zoals bijvoorbeeld een slecht uitgebalanceerd platendraaierplato.

Tussen de uitgang van het moduul en aansluiting 4 is een elko geschakeld. Dit is ook een vorm van terugkoppeling en zorgt waarschijnlijk (wij hebben, zoals gezegd, het schema van het interne van het moduul nergens gevonden, dus het blijft giswerk) voor een soort bootstrapping. Als namelijk het uitgangssignaal op zijn positieve top zit bij volle uitsturing van de versterker, dan is de uitgangsspanning ongeveer gelijk aan de positieve voedingsspanning. De bovenste transistor van de eindtrap, alsmede de stuurtransistoren van deze vermogenshalfgeleider zitten dan in dit speciale geval zo goed als zonder voedingsspanning. Door de aanwezigheid van die eksterne elko wordt de maximale positieve uitgangsspanning van de versterker als het ware opgeteld bij de aanwezige positieve voedingsspanning en die som wordt aan de in nood verkerende onderdelen als voedingsspanning aangeboden. De spanningsval over deze componenten blijft dan voldoende groot om een normale werking mogelijk te maken.

De uitgang van de versterker wordt dadelijk afgesloten met een zekering hetgeen, gezien het gemis aan een interne stroombegrenzing, zeker geen overbodige luukse is. De versterker mag, volgens de gegevens van de fabrikant, twee sekonden kortgesloten worden, zonder dat dit schade in de ingewanden van het moduul veroorzaakt. Dat wil dus zeggen, dat de zekering binnen twee sekonden in werking moet treden. Een exemplaar van 4 ampere zal dus bruikbaar zijn.

Na de zekering staat een serieschakeling van een kleine weerstand en een condensator tussen de uitgang en massa. Dit netwerkje heeft een stabiliserende functie. Het kan namelijk voorkomen dat versterkers zonder uitgangselko tot oscillatie bereid zijn, vooral als zij zonder aangesloten luidspreker uitgangsspanning produceren. Het kleine netwerkje onderdrukt deze kwalijke neigingen.

## DE OVERSTURINGSINDIKATIE

De noodzaak van een oversturingsindikatie volgt uit

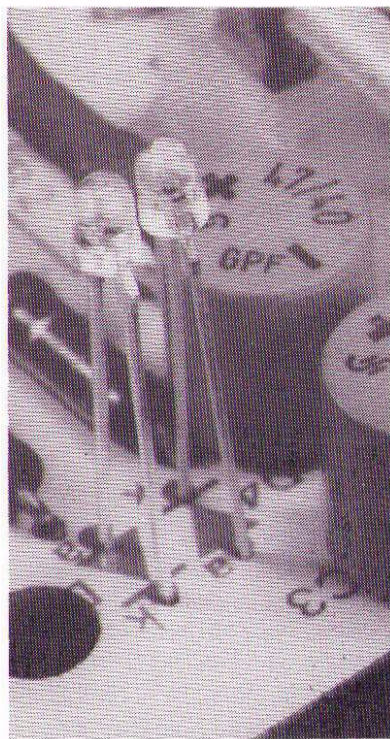
het simpele gegeven, dat de versterker zelf geen ingebouwde stroombegrenzing heeft. De versterker is weliswaar beschermd tegen kortsluitingen door de in de schakeling ingebouwde zekering, maar dit onderdeel biedt geen bescherming tegen een veel vaker voorkomend soort gevaar: een langdurige oversturing van de versterker. Kijk, in principe is dit moduul ontworpen voor het leveren van een vermogen van 50 watt in een belasting van 4 ohm. Het spreekt, dat het maximale vermogen afhankelijk is van de voedingspanning. Hoe groter deze spanning, des te groter de amplitude, dat is de maximale waarde van het uitgangssignaal, kan worden. Nou kan de voedingsspanning zo gekozen worden, dat het moduul niet meer dan 50 watt kan leveren. Als de voedingsspanning echter enige volts groter is, dan scheelt dit heel wat watts. Uit het prototipe van de schakeling hebben we bijvoorbeeld 59 watt gehaald! De vraag is, of het moduul dit hoger vermogen lang kan verdragen. De temperatuur van het moduul zal dan waarschijnlijk te hoog worden.

De meest voor de hand liggende methode voor het sturen van de oversturingsindicatie is het voortdurend meten van de amplitude van de uitgangsspanning. Nou is dit niet zo eenvoudig. Vandaar dat we gekozen hebben voor een ander soort schakeling, die wordt toegelicht aan de hand van figuur 9.

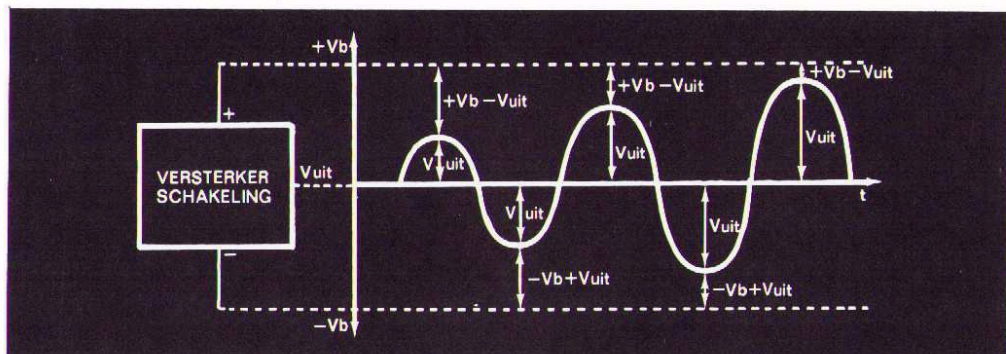
In deze figuur zijn enige groottes van uitgangsspanning getekend, die ieder overeenkomen met een bepaald uitgangsvermogen. Wat wel eenvoudig te meten is, is het verschil tussen de voedingspanning en de maximale waarde van de uitgangsspanning. In de figuur is die spanning aangeduid door de pijltjes „+Vb-Vuit” en „-Vb+Vuit”. Hoe groter het uitgangsvermogen van de versterker, des te groter de uitgangsspanning Vuit en hoe kleiner het spanningsverschil „+Vb-Vuit” of „-Vb+Vuit”.

Als we de voedingspanning kennen en bovendien de amplitude van de uitgangsspanning bij 50 watt, dan kunnen we dus het genoemde spanningsverschil berekenen.

We moeten dan een schakeling ontwerpen, die een spanningspuls levert als dit verschil kleiner wordt dan de berekende waarde. Een schakeling die dat kan is getekend in figuur 10. Tussen de uitgang van de versterker en de positieve voedingsspanning wordt een





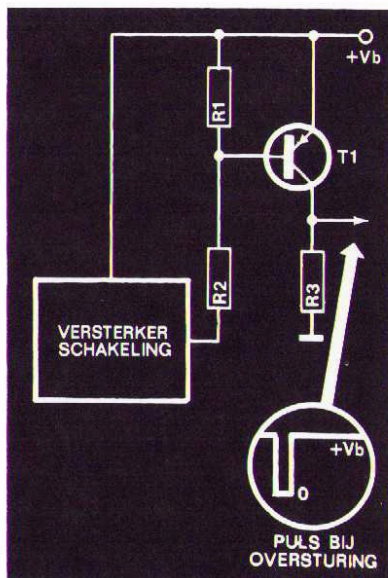


spanningsdeler opgebouwd, bestaande uit de weerstanden R1 en R2. De basis-emitter-overgang van een PNP-transistor T1 wordt aangesloten over de weerstand R1. De kollektor is door middel van een weerstand R3 verbonden met de massa.

Het principe van de schakeling berust op het gegeven, dat de stroom door de spanningsdeler R1-R2 recht evenredig is met het spanningsverschil tussen de uitgang van de versterker en de positieve voedingsspanning. Enige voorbeelden verduidelijken dit. Als er geen signaal aan de ingang van de versterker wordt aangeboden, dan is de spanning op de uitgang gelijk aan nul. De uitgang staat dus op massapotentiaal. Tussen de uitgang en de voedingsspanning staat dan uiteraard de voedingsspanning. De stroom die door de spanningdeler vloeit, wekt over weerstand R1 zo'n grote spanning op, dat de transistor T1 zal geleiden. De basis wordt immers negatiever dan de emitter. Het gevolg is, dat over de kollektorweerstand R3 de volledige voedingsspanning staat.

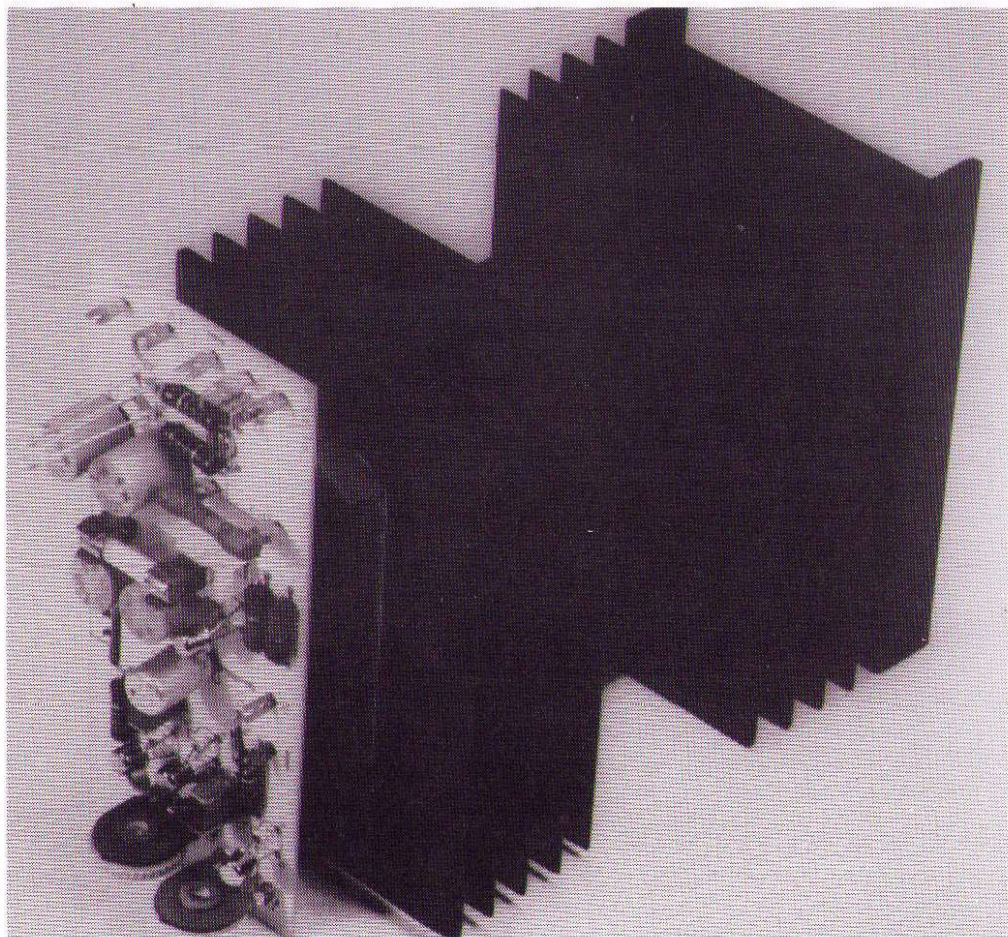
Als er wel signaal aan de ingang van de versterker wordt aangeboden, dan zal de uitgangsspanning van de versterker sinusvormig variëren. Ook de stroom door de spanningdeler volgt een sinusvormig verloop. De stroom is het laagst, op het moment dat de uitgangsspanning maximaal is, dus bij de positieve top van de uitgangsspanning. Door een geschikte keuze van de beide weerstanden kan men er nu voor zorgen, dat de spanningsval over weerstand R1 bij een uitgangsspanning goed voor 50 watt, zo klein wordt dat de transistor T1 gaat sperren. De spanning over de kollektorweerstand R3 wordt dan nul en dit signaal kan gebruikt worden voor het sturen van de indicator.

Figuur 9. De fundamentele werking van de oversturingsindikatie volgt uit deze figuur. Het verschil tussen de voedingspanning en de ogenblikkelijke waarde van het uitgangssignaal is een maat voor het door de versterker geleverde vermogen.



Figuur 10. Het eerste deel van de schakeling van de oversturingsindikator, hier getekend, is niets meer dan een eenvoudige komparator, die de spanning op de uitgang van de versterker vergelijkt met de positieve voedingsspanning.





De schakeling rond T1 is dus in feite niets anders dan een vergelijker, een komparator, die de spanning op de uitgang op ieder ogenblik vergelijkt met de voedingsspanning. Op het moment dat dit spanningverschil kleiner wordt dan een bepaalde waarde, zal de vergelijker een uitgangspuls (gaande van  $+V_b$  naar nul) opwekken, welke de indikator stuurt.

Het is duidelijk dat een identiek systeem opgebouwd kan worden tussen de uitgang van de versterker en de negatieve voedingsspanning, maar dan met een NPN-transistor. Deze schakeling wekt een puls op, als de negatieve top van de uitgangsspanning groter wordt dan noodzakelijk voor het opwekken van 50 watt in 4 ohm.



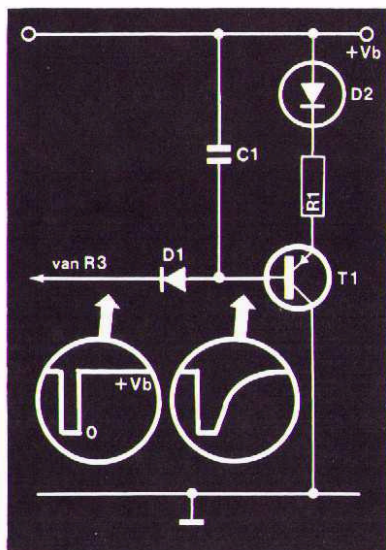
Tot slot moet het indikatiesirkwi besproken worden. Dit is voorgesteld in figuur 11.

Ook deze schakeling is opgebouwd rond een PNP-transistor. De ingang van deze schakeling is verbonden met de kollektorweerstand R3 uit figuur 10. Bij normale arbeidskondities, dus zonder oversturing, is de spanning op de ingang van de schakeling gelijk aan de voedingsspanning. Daar ook de emitter van de transistor op dit potentiaal staat, kan er geen stroom vloeien door de basis-emitter-overgang, zodat de transistor niet geleidt. De in de emitter opgenomen LED (lichtgevende diode) brandt dus niet. Als de versterker overstuurd wordt, dan meldt de overstuurkomparator van figuur 10 dit wangedrag door een negatieve puls af te leveren. De katode van diode D1 komt op massapotentiaal, zodat er een stroom kan lopen door de basis-emitter-overgang van de indikator-transistor. Door deze stroom wordt deze halfgeleider in geleiding gestuurd, door de emitter-kollektor-overgang loopt een stroom, die de LED zal laten oplichten.

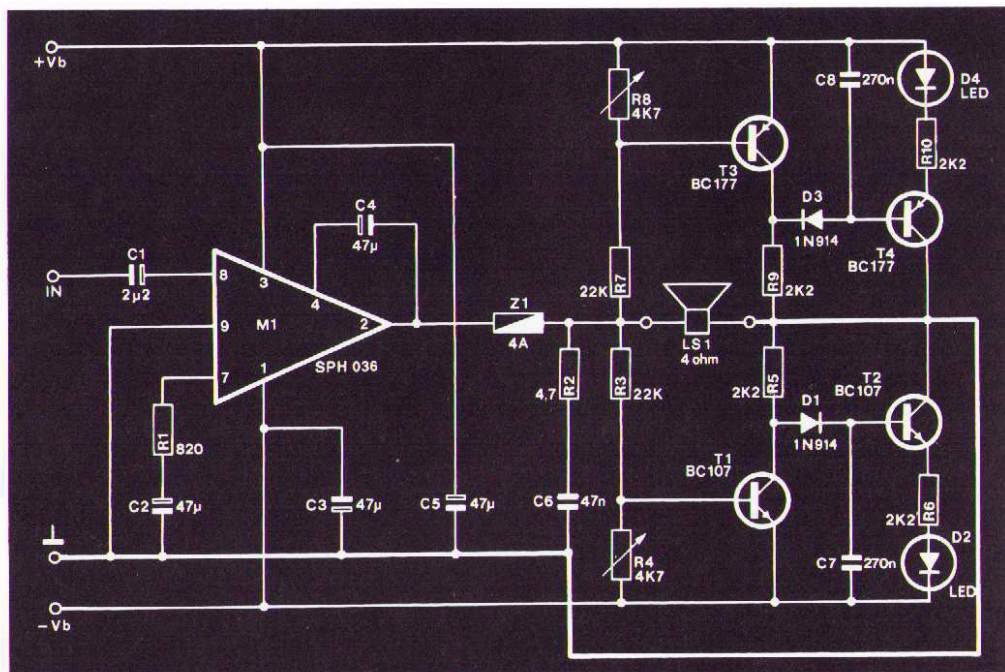
Gevolg: telkens als de versterker overstuurd wordt, zal de LED licht uitstralen.

Rest nog de werking te verklaren van de combinatie D1-C1. Onder normale kondities is de kondensator niet opgeladen. De basis bevindt zich immers op het voedingspotentiaal. Bij oversturing komt de basis op massapotentiaal, zodat over de kondensator een spanning wordt opgebouwd, gelijk aan de voedingsspanning. Als de oversturing voorbij is, dan wordt de ingang van de schakeling van figuur 11 weerom gelijk aan het voedingspotentiaal. De onderste plaat van de kondensator voert echter nog steeds een spanning, gelijk aan het massapotentiaal. De anode van diode D1 zit dus op een lagere spanning dan de katode, zodat dit onderdeel spert. De spanning over de kondensator C1 vloeit vervolgens af door de basis-emitter-overgang van de indikator-transistor.

Het gevolg is, dat deze transistor langer blijft geleiden dan de duur van de overbelasting. Ook de LED zal dus langer licht uitstralen dan in feite nodig is. Toch heeft dit een groot voordeel. Kijk, het komt in de praktijk vaak voor, dat de oversturing alleen optreedt gedurende de toppen van het geluidssignaal. Het indikatie-systeem komt dan wel in werking, maar de tijdsduur van de oversturingen is dan zo klein, dat het menselijke oog het slechts even oplichten van de LED



Figuur 11. Het tweede gedeelte van de schakeling bestaat uit een vertragend netwerk en een gewone transistorschakelaar.



Figuur 12. Het volledige schema van de 50 watt versterker in moduultechniek.

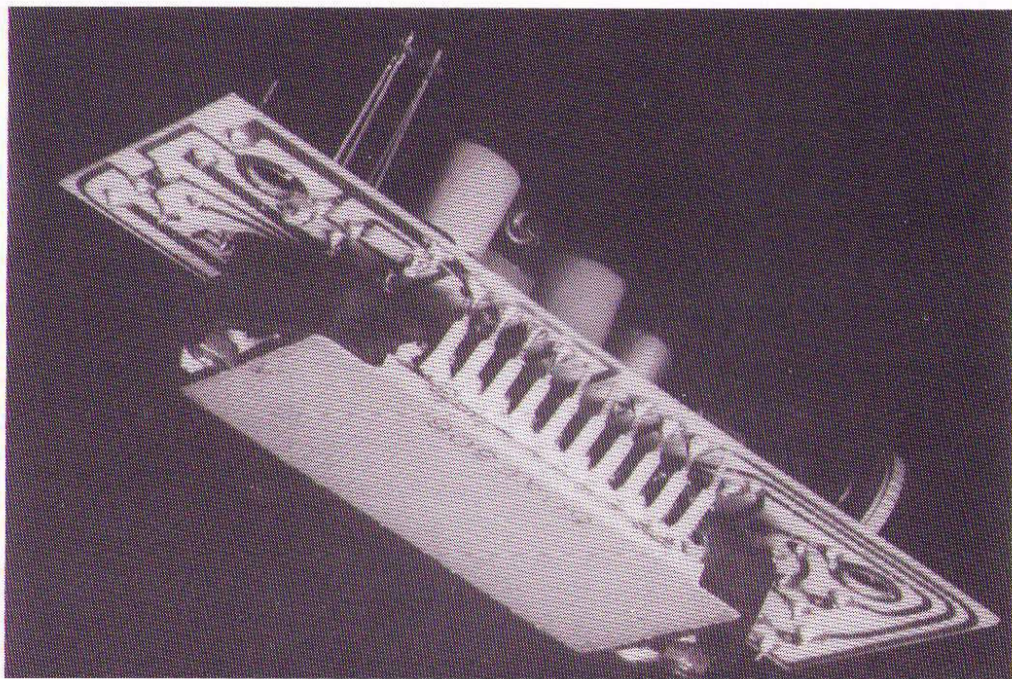
niet opmerkt. Door tussenschakeling van de diode D1 en de condensator C1 wordt de indikatietijd verlengd, zodat zelfs de kortste oversturing niet aan de aandacht ontsnapt.

Uiteraard kan het schema van figuur 11 ook weer opgebouwd worden voor de negatieve oversturingen, zij het dan dat de diode D1 omgepoold moet worden, de schakeling geschakeld wordt tussen de uitgang en de negatieve voedingsspanning en dat transistor T1 een NPN-eksemplaar is.

### HET VOLLEDIGE SCHEMA

Het volledige schema van deze handig kleine 50 watt versterker is getekend in figuur 12. Uit deze figuur blijkt duidelijk de simmetrische opbouw van de beide delen van de oversturings-indikatie. De spanningsdelers aan de ingang van deze schakelingen zijn nu opgebouwd uit een vaste weerstand (R7 en R3) en een trimmer (R8 en R4). Het bleek namelijk niet mogelijk, waarschijnlijk als gevolg van de toleranties in de gebruikte onderdelen, de spanningsdeler zo met vaste weerstanden uit te voeren, dat de schakeling precies bij overschrijding van 50 watt in actie treedt.





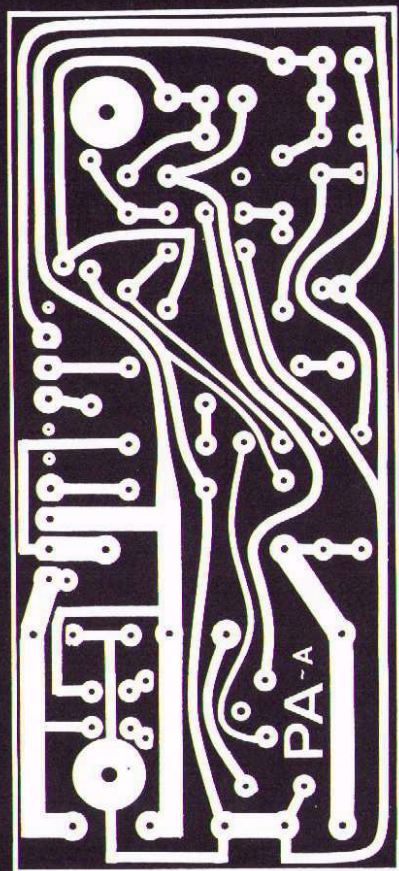
## DE BOUW

In de inleiding van dit hoofdstuk is reeds uitvoerig ingegaan op de ontwerpfilosofie van deze versterker, zodat we nu dadelijk kunnen starten met de stap-na-stap beschrijving van de bouw.

Het printje, met kode PA-a, is getekend in figuur 13 en kan, zoals alle prints, bij de uitgever besteld worden. De bestukking van de print volgt uit figuur 14. Uit deze figuur blijkt, dat we zijn afgeweken van de gestandaardiseerde aansluitvolgorde van de moduulschakelingen. Ten eerste hebben de voorversterker- en regelmodulen toch een andere voeding dan de eindversterker, en ten tweede vormen de eindversterkers toch het sluitstuk van het systeem.

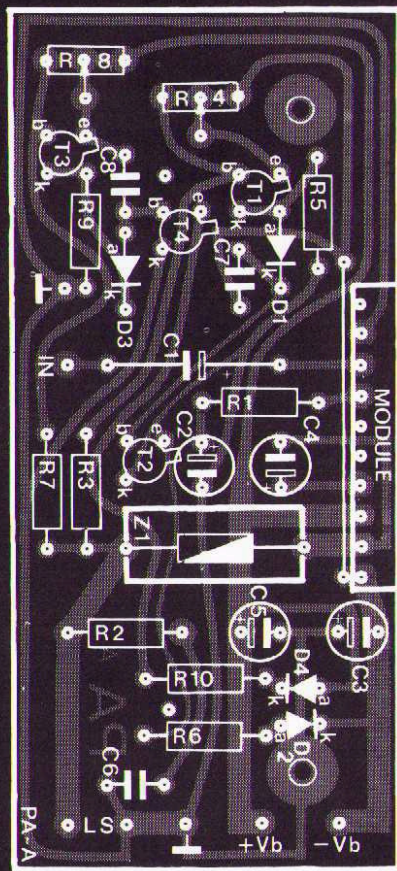
De bestukking van de print vangt aan met het solderen van de ene, lange draadbrug. Nadien kunnen in de 11 gaatjes, bestemd voor de in- en uitgangen en voor de LED's, soldeerpennetjes bevestigd worden. Het solderen van de verschillende onderdelen zal geen problemen met zich meebrengen. Alle 47 mikro-farad kondensatoren zijn printmodellen, waar tegenwoordig een groot aanbod in bestaat. Te gebruiken zijn bijvoorbeeld de (hippe oranje) elko's GSF van Siemens





Figuur 13. Het wel zeer kleine printje voor deze 50 watt versterker.

Figuur 14. De bestukking van de volledige versterker.



of de statige zwarte van ITT.

De weerstand R2 is een draadgewonden 1 watt eksemplaar. De niet-elektrolytische condensatoren zijn MKM's van Siemens.

De bedoeling is, dat de rode lichaampjes van de LED's door gaatjes in het frontplaatje komen gluren. De LED's moeten dus een flink eind boven de print uitsteken: als men zich aan de onderstaande samenbouw houdt eksakt 22 millimeter.

Nadat het printje volgens figuur 14 is volgeplant, kan de samenbouw van print en moduul aangepakt worden. Allereerst worden de 10 aansluitpennen van het moduul omgebogen, zodat de punten van de pennen naar de zwarte voorzijde van het moduul wijzen. Ver-



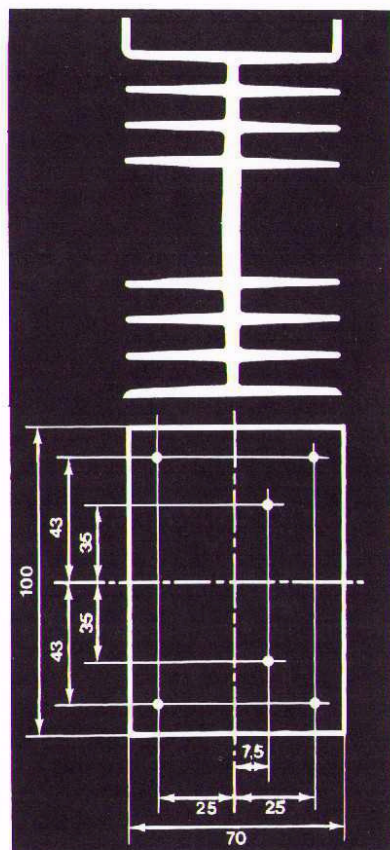
volgens wordt het moduul door middel van 20 millimeter lange M3-schroeven samengebouwd met de print. Tussen print en moduul komen isolerende afstandsbusjes van 5 millimeter lengte. Het moduul komt uiteraard aan de kant van de kopersporen te zitten en wel zo, dat de 10 punten van de aansluitlipjes door de gaten in de print steken. Als alles goed zit dan kunnen de aansluitlipjes door middel van soldeer op de printeilandjes gesoldeerd worden. Rond drie gaatjes zit geen koper, omdat de aansluitingen van het moduul, die in die gaatjes steken, niet gebruikt worden.

De versterker is nu in feite gebruiksklaar. Zonder koeling zou het ding echter na enige minuten ophouden te leven, daar de warmte-ontwikkeling in het moduul te groot is.

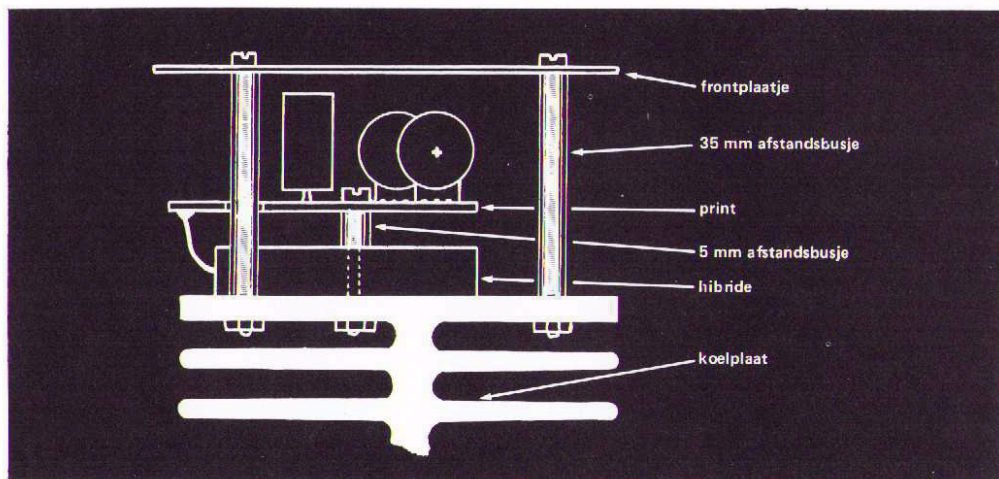
In de inleiding van dit hoofdstuk is al iets gezegd over het soort koelplaat. Nou is het vinden van een geschikt tipe koelplaat erg moeilijk. Dat komt doordat wij het koelelement bij dit ontwerp eigenlijk verkeerd gebruiken. Meestal wordt het te koelen onderdeel tussen twee reeksen koelvinnen gemonteerd. Nu wordt het moduul op een van de buitenste koelvinnen geschroefd. De warmtegeleiding van het lichaam is dan niet optimaal. Wel hebben wij in een katalogus een erg mooi koelelement gevonden, namelijk tipe SK 14. De randen, waarmee het element bij normaal gebruik op een chassis bevestigd wordt, moeten verwijderd worden. Daarna moeten in een van de twee buitenste ribben zes gaatjes geboord worden: twee voor de bevestiging van de combinatie print-moduul en vier voor de bevestiging van de koelplaat op het frontplaatje. Een boorschema voor gebruik bij SK 14 is getekend in figuur 15. Uit deze tekening blijkt, dat het profiel een lengte moet hebben van 10 centimeter.

Nadat dit karweitje geklaard is, kan de finale van de samenbouw gestart worden. Het frontplaatje heeft de afmetingen 132 x 80 millimeter. De samenbouw gaat volgens figuur 16. Allereerst wordt de combinatie moduul-print op het koellichaam geschroefd. Het is absoluut noodzakelijk, de metalen montageplaat van het moduul te besmeren met een laagje warmtegeleidende pasta, die tegenwoordig bij de meeste onderdelenhandelaars verkrijgbaar is.

De moeren, waarmee men moduul en print had samengeschroefd, worden nu natuurlijk eerst verwij-



Figuur 15. Een (niet op ware grootte getekend) boorplan voor de zijkant van het koelelement SK 14.



Figuur 16. Een bovenaanzicht van het complete, afgemonteerde moduul. De print en de versterkerhibride zijn op de koelplaat geschroefd. Deze laatste is door middel van lange schroeven verbonden met het frontplaatje.

derd, en nadien gebruikt om het koellichaam met het moduul te verankeren. Als alles goed zit, kan men constateren dat de twee grote gaten in de print net boven de twee bevestigingsgaten in de koelplaat zitten.

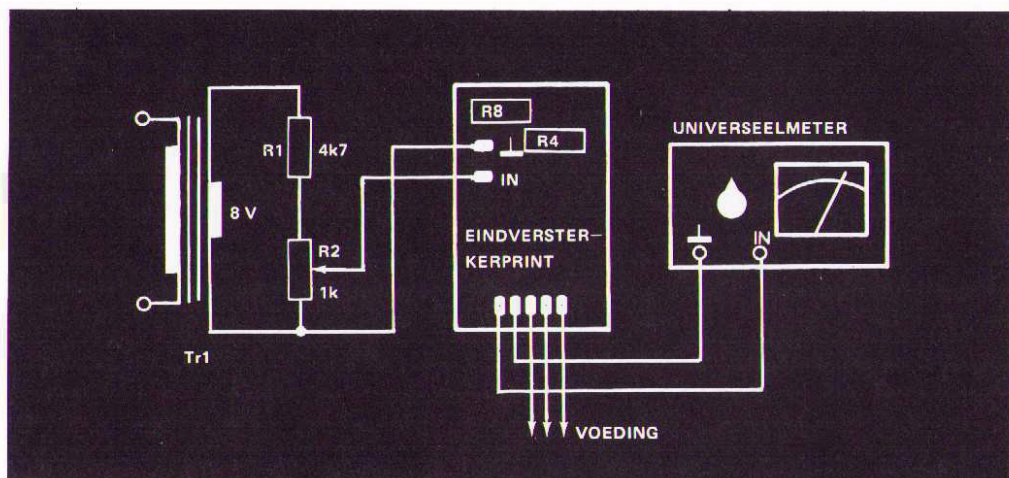
Dat is dus de volgende stap: het samenschroeven van frontplaat en koelplaat. Daarvoor heeft men schroeven van 4 centimeter nodig, zodat alle doe-het-zelf-zaken in de buurt wel met een bezoek vereerd zullen moeten worden. Tussen frontplaat en koelelement komen afstandsbuisjes van 35 millimeter.

### AFREGELLEN VAN DE VERSTERKER

In feite is de titel van deze paragraaf misleidend, want dank zij het gebruik van een kant-en-klaar hibride valt er aan de versterker zelf niets af te regelen. Wat wel afgeregeld moet worden, is de oversturingsschakeling, die is opgebouwd uit vier transistoren en twee LED's. De oversturing is, zoals eerder gezegd, opgebouwd uit twee topspanningsdetektoren, die de spanning aan de uitgang van de versterker meten en de LED's sturen, als die spanning groter wordt dan noodzakelijk voor het opwekken van een vermogen van 50 watt in de luidspreker.

Bij het afregelen zullen we dus de spanning over de klemmen van de luidspreker moeten meten. Verder moeten we een sisteempje bedenken, waarmee we aan de ingang van de versterker een regelbare wisselspanning kunnen aanleggen. Door het variëren van de ingangsspanning van de versterker kunnen we immers





de uitgangsspanning op de gewenste waarde afregelen. Wie een volledig laboratorium ter beschikking heeft, draait voor deze klus de hand niet om: aan de ingang wordt de uitgang van een regelbare sinusgenerator aangesloten en aan de uitgang van de versterker komt een wisselspanningsmeter.

De gemiddelde lezer van dit boek zal dergelijke meetapparatuur nog niet ter beschikking hebben, zodat we wat zullen moeten improviseren.

Voor de afregeling heeft men nodig: een beltrafootje, een potmeter van 1 kilo-ohm, een vaste weerstand van 4,7 kilo-ohm en een universeelmeter met wisselspanningsmeetbereik.

De afregelprocedure wordt verklaard aan de hand van figuur 17.

Het zal duidelijk zijn, dat we de beltrafo, samen met de spanningsdeler aan de sekundaire, gebruiken als een goedkope sinusgenerator. De wisselspanning van het net is immers ook een (vervormde) sinus met een frekwentie van 50 hertz!

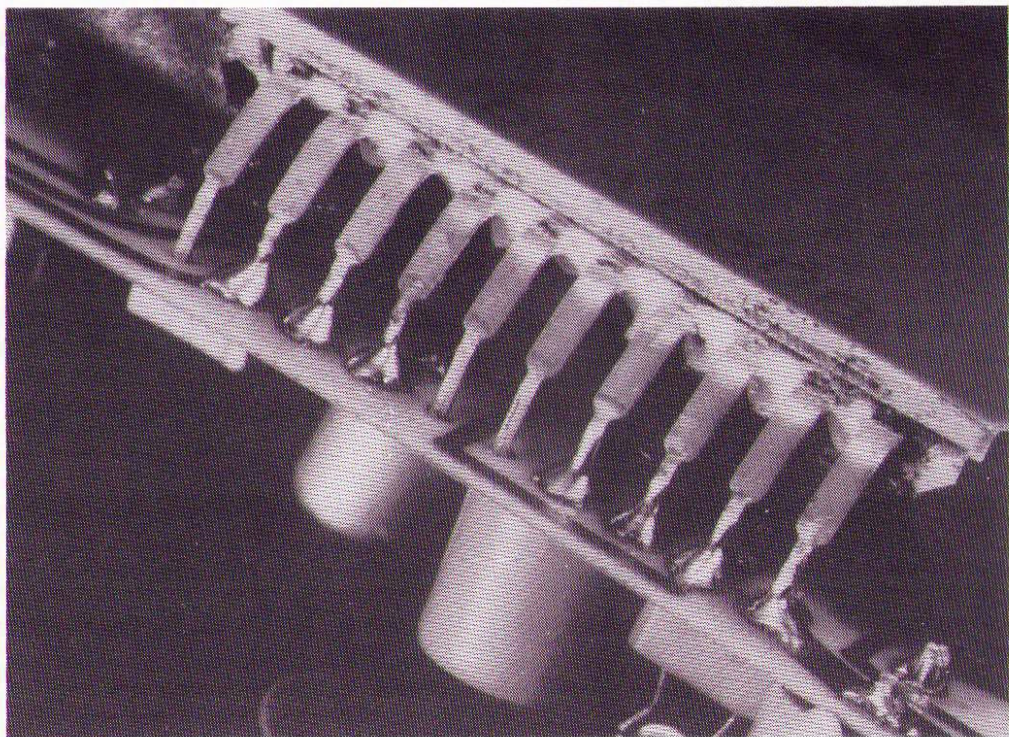
Door middel van de spanningsdeler R1-R2 begrenzen we de uitgangsspanning van de sekundaire van de trafo tot de voor het uitsturen van de versterker gewenste waarde.

De versterker wordt verder op de normale manier met zijn beide voedingsspanningen verbonden (zie volgend hoofdstuk).

Over de luidsprekerklemmen wordt een universeelmeter geschakeld, ingesteld op het wisselspanningsbereik. De luidspreker wordt niet aangesloten!

Figuur 17. Als men geen sinusgenerator heeft kan men, door deze schakeling op te bouwen, toch op een zeer eenvoudige manier de oversturingsindikatie van de 50 watter in moduultechniek afregelen. De beltrafo vormt, samen met de weerstandsdeler, een eenvoudige maar voor dit doel goed geschikte sinusgenerator.





Wat we nu moeten doen is de potmeter zo verdraaien, met andere woorden aan de ingang van de versterker een sinussignaal aanleggen met de waarde, die noodzakelijk is om in de luidspreker een vermogen van 50 watt op te wekken. U zult opmerken dat de luidspreker niet is aangesloten en dat we dus niet weten wanneer we voldoende signaal aan de uitgang van de versterker meten. Dat is natuurlijk wel zo, maar een goede versterker heeft de eigenschap, dat de uitgangsspanning met of zonder aangesloten luidspreker constant is. Daarvoor zorgt de ingebouwde terugkoppeling. Als we dus, zonder aangesloten luidspreker, op de uitgang een spanning meten, goed voor 50 watt in de luidspreker, dan kunnen we er zeker van zijn dat die spanning bij aansluiten van de luidspreker ook aanwezig zal zijn. Dat is dus verder geen punt. Wat we nu nog moeten berekenen is de grootte van de gewenste uitgangsspanning. Daarvoor doen we beroep op enige eenvoudige formules uit de elektriciteitsleer.



De algemene formule voor het vermogen, dat wordt opgewekt in een verbruiker, luidt:

$$P = U \times I$$

Of, in woorden, het vermogen is gelijk aan het produkt van de spanning over de verbruiker en de stroom door de verbruiker. Nu is deze formule in de praktijk niet erg bruikbaar, omdat er twee grootheden in staan, namelijk spanning en stroom, die gemeten moeten worden. Bovendien zijn de meeste universeelmeters niet uitgerust met een wisselstroom-meetmogelijkheid. Vandaar dat we die stroom liever kwijt dan rijk zijn in de formule. Gelukkig kunnen we, dank zij enig speurwerk van de Heer Ohm, lang geleden, de stroom door iets anders vervangen.

Uit de wet van Ohm volgt immers, dat de spanning over een verbruiker gelijk is aan de stroom door de verbruiker, maal de waarde van de verbruiker in ohm. In formulevorm:

$$U = I \times R$$

Uit deze algemene wet van Ohm kan de waarde van de stroom afgeleid worden:

$$I = \frac{U}{R}$$

Deze waarde voor de stroom kunnen we zonder meer invullen in de algemene formule van het vermogen:

$$P = U \times I = U \times \frac{U}{R}$$

waaruit volgt:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Door enige wiskundige grapjes toe te passen kunnen we uit deze formule de waarde van de spanning afleiden, in functie van de waarde van de verbruiker en van het vermogen, dat in die verbruiker wordt opgewekt.

$$U = \sqrt{P \times R}$$

Nu zijn we waar we wezen moeten: de waarde van de

## ONDERDELENLIJST

### WEERSTANDEN:

- R 1 = 820 ohm, 1/4 watt
- R 2 = 4,7 ohm, 1 watt, draadgewonden
- R 3 = 22 k-ohm, 1/4 watt
- R 4 = 4,7 k-ohm, trimmer, staand 5 x 10 mm
- R 5 = 2,2 k-ohm, 1/4 watt
- R 6 = 2,2 k-ohm, 1/4 watt
- R 7 = 22 k-ohm, 1/4 watt
- R 8 = 4,7 k-ohm, trimmer, staand, 5 x 10 mm
- R 9 = 2,2 k-ohm, 1/4 watt
- R 10 = 2,2 k-ohm, 1/4 watt

### KONDENSATOREN:

- C 1 = 2,2 uF, 35 V liggend
- C 2 = 47 uF, 35 V print
- C 3 = 47 uF, 35 V print
- C 4 = 47 uF, 35 V print
- C 5 = 47 uF, 35 V print
- C 6 = 47 nF, MKM
- C 7 = 270 nF, MKM
- C 8 = 270 nF, MKM

### HALFGELEIDERS:

- D 1 = 1 N 914
- D 2 = LED, 3 mm rood
- D 3 = 1 N 914
- D 4 = LED, 3 mm rood
- T 1 = BC 107
- T 2 = BC 107
- T 3 = BC 177
- T 4 = BC 177
- M 1 = SPH 036

### DIVERSEN:

- 1 x print PA-a
- 1 x frontplaatje FP-PA-a
- 11 x printsoldeerlipjes
- 1 x koelplaat SK 14
- 2 x 5 mm afstandsbusjes
- 4 x 35 mm afstandsbusjes
- 2 x M 3 x 20 schroeven
- 4 x M 3 x 40 schroeven
- 6 x M 3 moertjes
- 1 x printzekeringhouder
- 1 x zekering 4 A, traag

verbruiker kennen we, dat is immers niets anders dan de 4 ohm impedantie van onze luidspreker, en de grootte van het vermogen is ook duidelijk. Dat is namelijk het maksimum vermogen van 50 watt.

We kunnen deze twee getallen zonder meer in de formule invullen:

$$U = \sqrt{50 \times 4} = \sqrt{200} = 14,14 \text{ volt}$$

Even samenvatten. Als we over een luidspreker met een impedantie van 4 ohm een wisselspanning meten van 14,14 volt, dat wordt er in die luidspreker een vermogen opgewekt van precies 50 watt.

Als we dus de oversturingsindikatie van de 50-watter in moduultechniek willen afregelen, dan zal het duidelijk zijn dat we aan de ingang een spanning moeten aanleggen, die tot gevolg heeft dat er over de uitgang een spanning van 14,14 volt ontstaat. Nadien gaan we de twee potmetertjes van de indikatie zo afregelen, dat de LED's nog net niet gaan branden. Als de spanning aan de uitgang van de versterker dan iets hoger wordt, moeten de LED's wel branden, want dan wordt er meer dan de toegestane 50 watt opgewekt.

De afregelprocedure is dus uiterst simpel. De trimpotmeter R2 uit figuur 17 wordt zo afgeregeld, dat de universeelmeter aan de uitgang van de versterker een spanning van 14,14 volt aangeeft. Daarna worden de trimmers R8 en R4 op de versterkerprint verdraaid, tot de LED's beginnen te gloeien. De afregeling is dan in orde.

Men zal opmerken, dat er geen punt in de afregeling van de trimmers is, waarbij de LED's plotsklaps oplichten. Het intensiteitsverloop gaat geleidelijk. Dat komt door de eenvoud van de schakeling, maar is in de praktijk geen bezwaar. Een muzieksignaal verloopt zo pieksgewijs, dat in de praktijk deze geleidelijke overgang van niet-branden naar wel-branden niet zal opvallen.



# voeding

# Regelmodulen

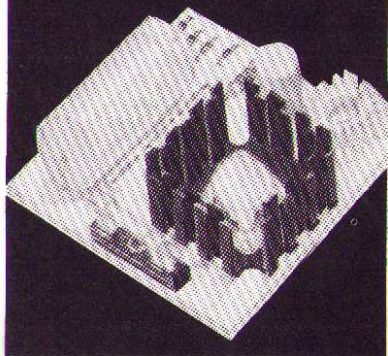
De in dit boek beschreven modules worden, op de eindversterker na, gevoed uit een spanning van 25 volt, positief ten opzichte van massa.

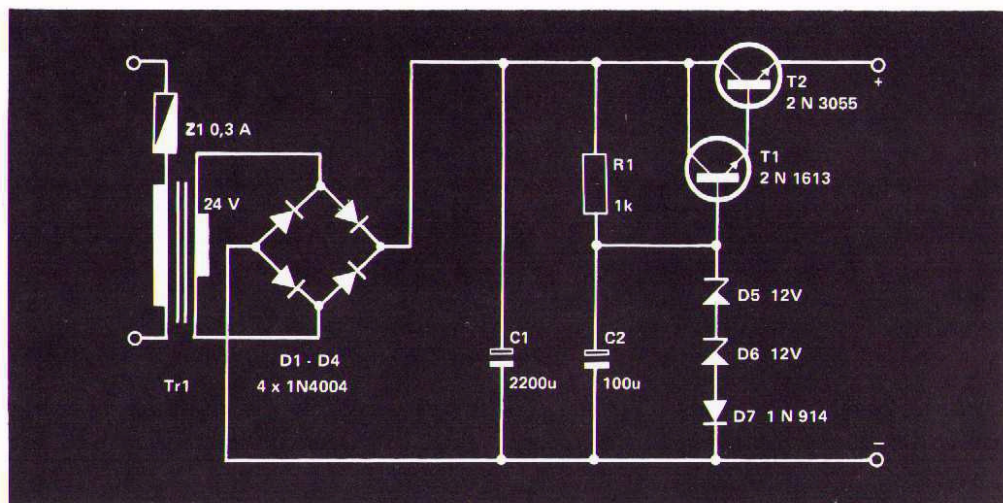
De 50 watt eindversterker(s) hebben daarentegen een symmetrische voeding nodig. Wil men uit de gebruikte SPH 036 hybride de maximale 50 watt vermogen halen, dan moet deze schakeling gevoed worden uit een totale spanning van 56 V. Deze spanning wordt verdeeld in een positieve spanning van 28 volt ten opzichte van massa en een even grote negatieve spanning.

Het lijkt aantrekkelijk slechts een voeding te gebruiken. Uit de positieve spanning voor de eindversterker(s) kan zonder veel problemen de nodige 25 volt voor de overige modules afgeleid worden.

Toch zijn hier een aantal nadelen aan verbonden. De eindversterkers verbruiken namelijk grote stroompieken als zij volledig uitgestuurd worden. Deze stroompieken zullen de voedingsspanningen voor de schakeling zeer belasten. Het gevolg is dat de spanning niet konstant blijft, maar gaat variëren op het ritme van de stroom, die door de eindversterker vloeit. Als men de regelmodules met deze variërende spanning zou voeden, dan kunnen er allerlei nare effecten ontstaan, zoals brom, motor-boating en noem maar op.

Vandaar dat we het zekere voor het onzekere hebben genomen en twee volledige gescheiden voedingen hebben ontwikkeld. Een gestabiliseerde, die de regelmodules van spanning voorziet en een ongestabiliseerde, die alleen de eindversterkers stuurt.





Figuur 1. Het schema van de gestabiliseerde 25 volt voeding voor de voorversterker- en effect-modulen. Deze voeding kan meer dan 1 ampere leveren, zodat de schakeling ruimschoots in staat is alle beschreven modulen te spijzen.

## DE VOEDING VOOR DE VOORVERSTERKERS

De modulen van de voorversterkers en effect schakelingen vragen een voeding van 25 volt, positief ten opzichte van de massa.

Sommige modulen trekken erg weinig stroom, zoals het ruisfilter (enkele milli-ampere). Andere modulen, zoals de LED VU-meter, trekken, onder ongunstige omstandigheden, meer dan 100 milli-ampere.

De te ontwerpen voeding moet dus een vrij grote stroomcapaciteit hebben, zeker als we er rekening mee houden dat de schakeling alle modulen, dus niet alleen deze die in dit eerste boek beschreven staan, zal moeten kunnen spijzen.

Vandaar dat de voeding, die nu beschreven gaat worden, flink overgedimensioneerd is.

De voeding kan namelijk meer dan 1 ampere leveren, zodat er ook in de toekomst geen problemen kunnen ontstaan met een te krap bemeten voeding.

Het schema van de (zeer eenvoudige) voeding is getekend in figuur 1.

De trafo heeft een sekundaire wikkeling van 24 volt. De stroom moet minimaal 1 ampere bedragen.

Deze spanning wordt door middel van 4 diodes, in brug geschakeld, gelijkgericht en door een grote elko C1 afgevlakt.

Over deze kondensator ontstaat een spanning van ongeveer 30 volt. Gelijkgericht, dat wel, maar voorzien van een vrij grote netspanningsrimpel en niet gestabiliseerd. Deze spanning is onbruikbaar voor het voeden



van de modules, omdat de geleverde gelijkspanning zal schommelen met het stroomverbruik en de grote rimpel bij gevoelige modules bromproblemen kan opleveren.

Vandaar dat een zeer eenvoudige stabilisatieschakeling achter de elko wordt aangebracht.

Deze kring bestaat uit twee delen. In de eerste plaats enige onderdelen die een zeer stabiele spanning van 25 volt opwekken, in de tweede plaats een versterker, die deze goed gestabiliseerde en afgevlakte spanning geschikt maakt voor het leveren van stroom.

De stabilisatie-schakeling is opgebouwd uit de weerstand R1, de diodes D5, D6, D7 en de elko C2.

Zoals men weet is de spanning, die over een zenerdiode ontstaat, vrijwel onafhankelijk van de stroom die door het onderdeel loopt. Ook de geleidingsspanning van een silicium-diode is onafhankelijk van de stroom. Over de serie-schakeling van de drie diodes zal dan ook de som ontstaan van drie vrijwel konstante spanningen: 12 volt over de zenerdiode D5, evenveel volt over zijn soortgenoot D6 en 0,7 volt over de geleidende silicium-diode D7. De totale spanning over de diodes, veroorzaakt door het vloeien van een stroom door de keten, is dus ongeveer gelijk aan 25 volt. De elko C2 zorgt voor een ekstra afvlakking van deze spanning. De brom, aanwezig over C1, zal zodoende volledig onderdrukt worden en niet terug te vinden zijn op de katode van D5.

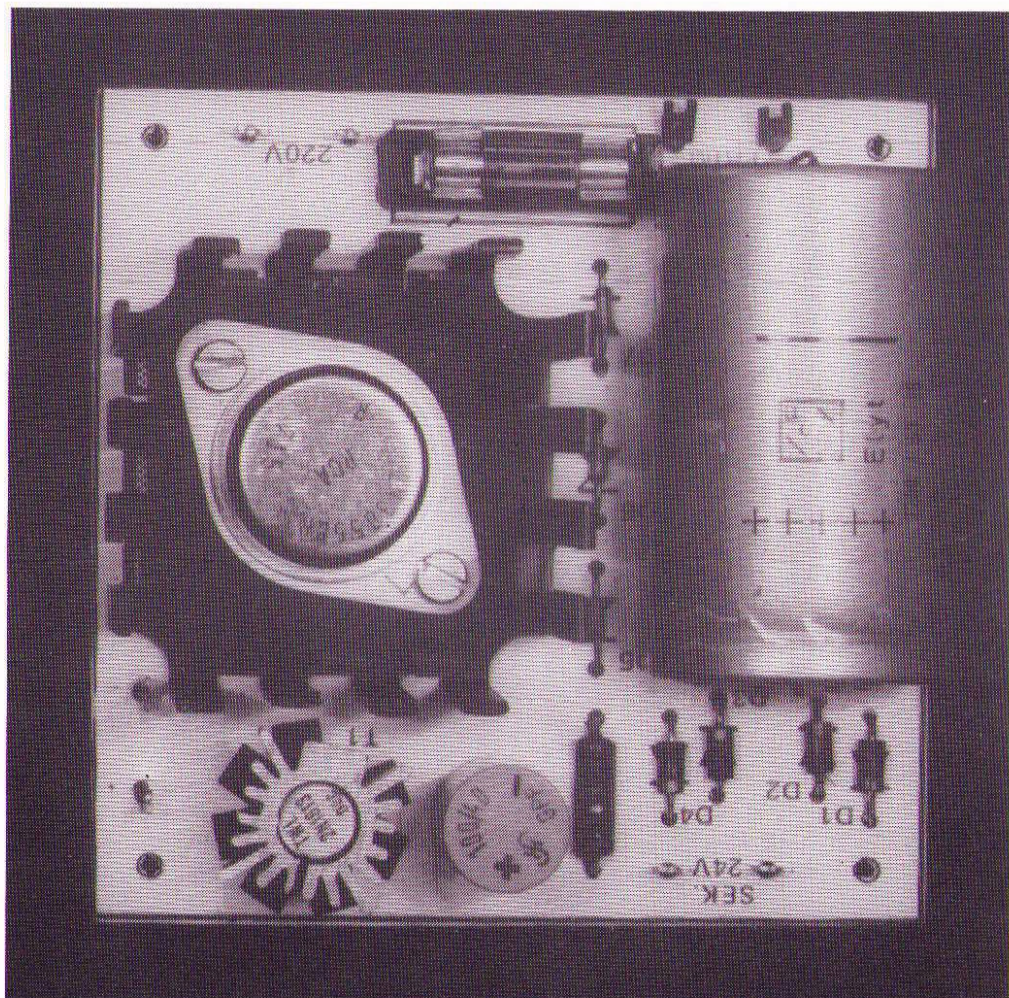
De spanning van 25 volt is nog niet in staat stroom te leveren. Het aansluiten van de modules over de zenerdiodes zou tot gevolg hebben dat de stroom door R1 zo groot wordt, dat alle beschikbare spanning over deze weerstand valt.

Vandaar dat een stroomversterker noodzakelijk is. De bekendste en eenvoudigste schakeling om een stroom te versterken is de emittervolger.

Dat is een schakeling, opgebouwd rond een transistor. De basis ontvangt het signaal waarvan de stroomcapaciteit vergroot moet worden. De kollektor ligt aan de voedingsspanning. Op de emitter staat hetzelfde signaal als op de basis, maar daar kan wel stroom geleverd worden.

De werking van de schakeling is vrij eenvoudig te verklaren. Het signaal op de basis zal een kleine basisstroom in de transistor laten vloeien. Nu heeft een transistor een bepaalde stroomversterking, wat wil

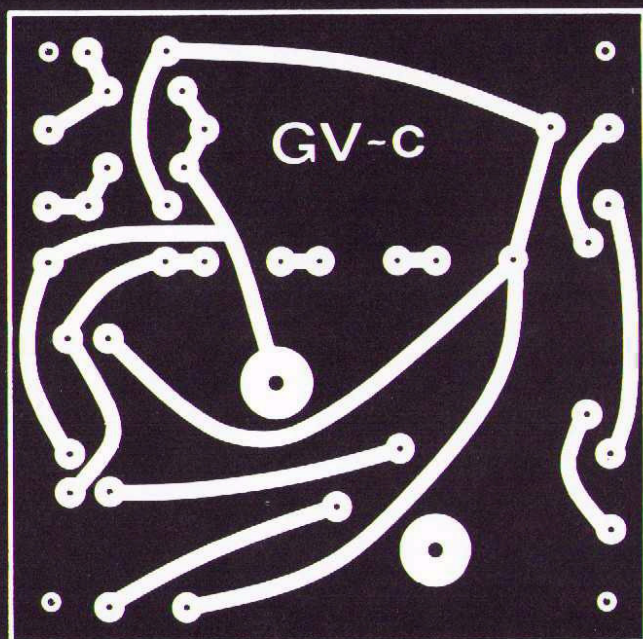




zeggen dat de stroom die door de basis geleverd moet worden slechts een deel is van de stroom die door de kollektier vloeit. Dat deel wordt bepaald door de stroomversterkingsfaktor van de halfgeleider. Als de kollektier van de transistor bijvoorbeeld zo belast wordt dat er door de transistor een stroom van 100 milli-ampere vloeit en de stroomversterkingsfaktor van de halfgeleider is gelijk aan 100, dan zal er slechts 1 milli-ampere in de basis moeten lopen.

Samenvattend: als we de stabiele spanning over de serie-schakeling van de diodes aanleggen op de basis van een emittervolger, dan zal die serie-schakeling





## MODUULVOEDING 25 V

### ONDERDELENLIJST

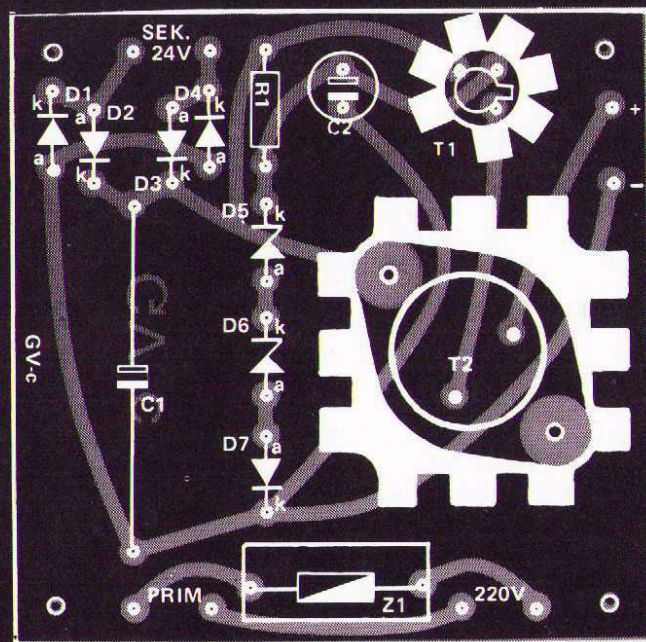
#### WEERSTAND:

R 1 = 1 k-ohm, 1/4 watt

#### KONDENSATOREN:

C 1 = 2200  $\mu$ F, 35 V liggend

C 2 = 100  $\mu$ F, 35 V print



#### HALFGELEIDERS:

D 1 = 1 N 4004

D 2 = 1 N 4004

D 3 = 1 N 4004

D 4 = 1 N 4004

D 5 = 12 V 400 mW zener

D 6 = 12 V 400 mW zener

D 7 = 1 N 914

T 1 = 2 N 1613

T 2 = 2 N 3055

#### DIVERSEN:

Tr 1 = 24 V, 1 A trafo

1 x print GV-c

1 x printzekeringhouder

1 x zekering 300 mA, snel

1 x koelspin voor TO-39

1 x vingerkoelplaat voor

TO-3, 25 mm hoog

8 x printsoldeerlipjes

4 x 10 mm afstandsbusjes

4 x M 3 x 20 schroeven

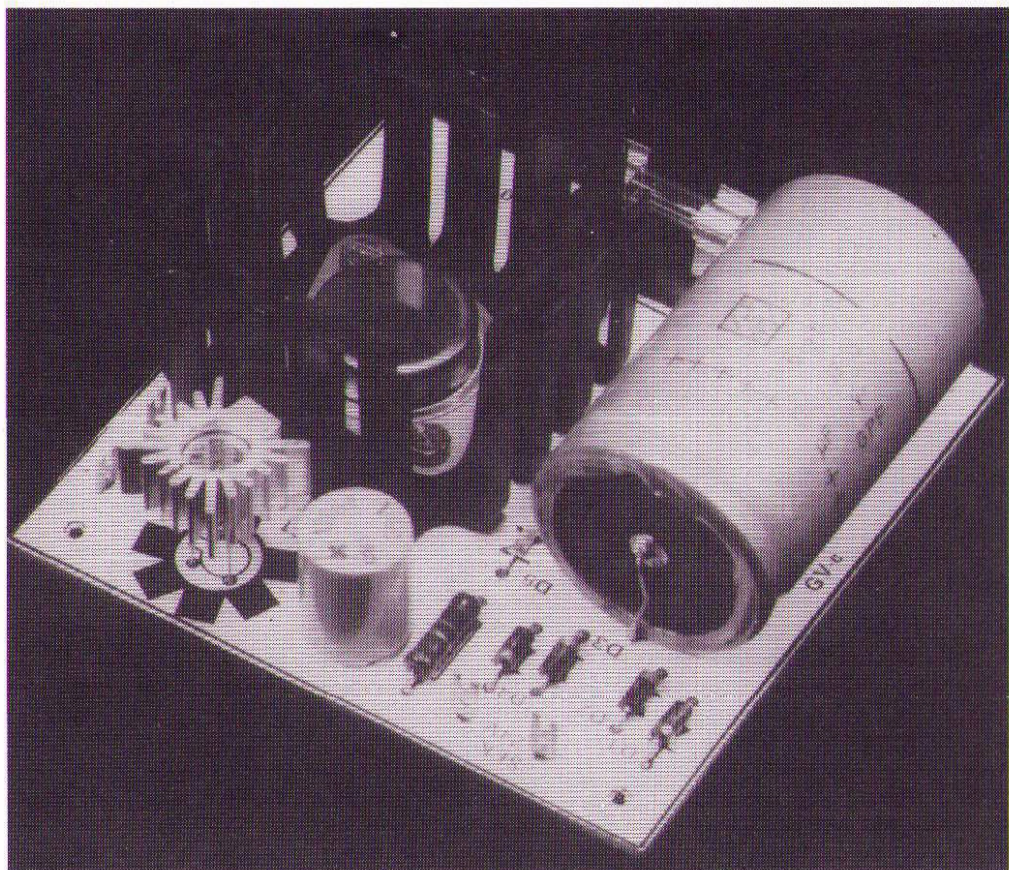
2 x M 3 x 10 schroeven

6 x M 3 moertjes

4 x M 4 x 10 schroeven

4 x M 4 moertjes





slechts een stroom van enige milli-ampere in de basis moeten sturen om toch een stroom van enige honderden milli-ampere door de transistor te laten vloeien. De modulen-voeding moet in staat zijn 1 ampere te leveren. Deze stroom is te groot om door een emittervolger verwerkt te worden. Vandaar dat we het krachtige broertje van de emittervolger ter hulp roepen. Dat is de darlington, die is opgebouwd uit twee achter elkaar geschakelde emittervolgers.

De basisstroom in de eerste transistor is dan gelijk aan de uitgangsstroom van de darlington, gedeeld door het produkt van de twee stroomversterkingsfactoren van de halfgeleiders.

Op deze manier kan de voeding 1 ampere leveren, terwijl de zenerdiodes toch slechts enige milli-ampere in de basis van T1 moeten sturen.



## DE BOUW VAN DE VOEDING

Figuur 2 geeft het printje GV-c van deze modulen-voeding. De bestukking volgt uit figuur 3.

Nadat de diodes en de weerstand zijn gemonteerd, volgen de twee elko's. De grote is een liggend of radiaal exemplaar, de kleine een print- of aksiaal exemplaar. Transistor T1 wordt voorzien van een klein koelsterretje. Zijn TO-3 soortgenoot moet samen met een vingerkoelplaat met een hoogte van 25 milli-meter op de print geschroefd worden.

De print kan, samen met de voedingstrafo, op de achterwand van de gebruikte behuizing geschroefd worden. De primaire wikkeling wordt verbonden met de „prim” soldeerlipjes van de print. De sekundaire wikkeling van 24 volt wordt verbonden met de „sek 24 V” aansluitlipjes. De netspanning gaat, al dan niet via een aan-uit schakelaar, naar de „220V” lipjes. Tussen de „+” en „-” staat de 25 V ter beschikking.

Een belangrijke opmerking is op haar plaats. Wij hebben de voeding zo eenvoudig mogelijk uitgevoerd. Dat heeft wel als consequentie dat de schakeling niet is voorzien van extra snufjes, waaronder een kortsluitbeveiliging. Het is dus niet aan te bevelen de voeding zonder voorzorgsmaatregelen te verbinden met een van de moduul-schakelingen.

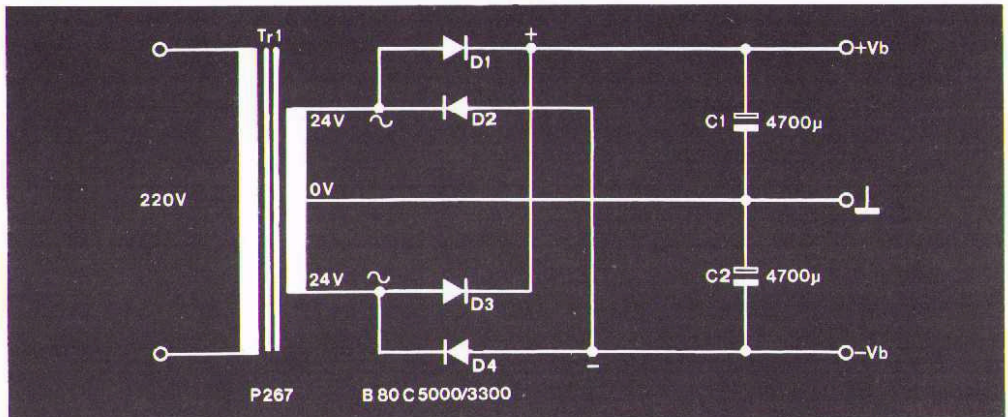
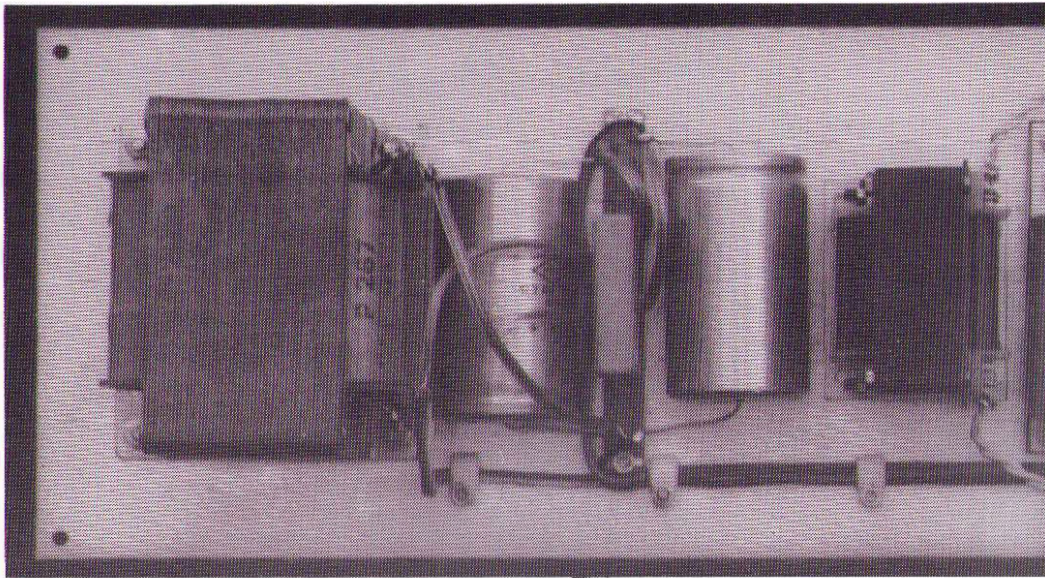
Wat we bedoelen is dat het aan te raden is eerst de verbindingen tussen voeding en module te SOLDEREN, nadien de bedrading zorgvuldig te controleren en eerst dan de voeding met het net te verbinden. Dat is de enige manier waarop er nooit iets mis kan gaan! Kortsluiten van de voeding, al is het maar even, leidt tot vernieling van de transistoren in de schakeling van de voeding!

## DE VOEDING VOOR DE EINDVERSTERKER(S)

De hybride die gebruikt wordt in de schakeling van de eindversterker, vraagt een symmetrische voeding, dus even grote positieve en negatieve spanningen.

Het schema waarmee we zo'n symmetrische voeding kunnen realiseren is getekend in figuur 4.

Een trafo met twee even grote sekundaire wikkelingen is noodzakelijk. Deze wikkelingen worden in serie geschakeld en wel zo dat de wikkelzin van de windingen op de kern dezelfde is. Dat heeft de volgende consequentie. Zoals men weet is de netspanning sinusvormig. Deze spanning gaat voortdurend heen en



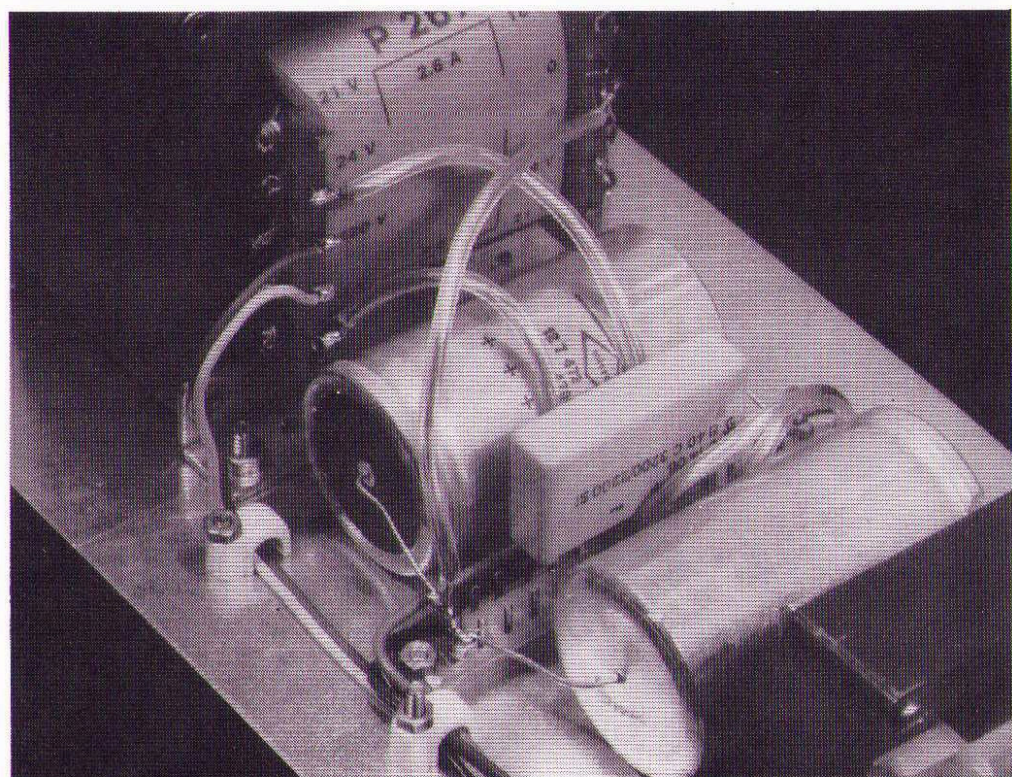
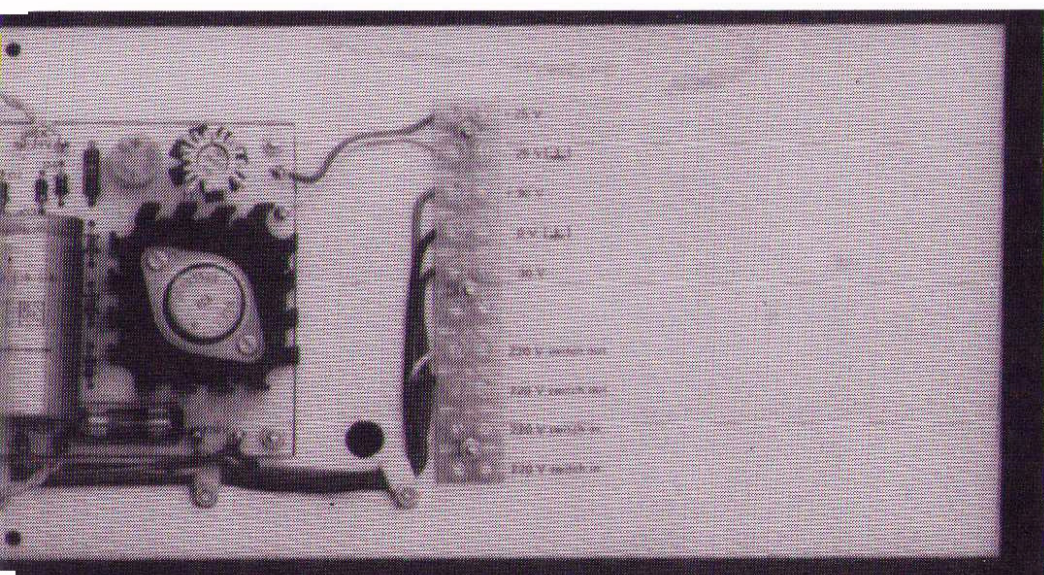
Figuur 4. De voeding voor de 50 watt eindversterkers. Deze leidt uit twee in serie geschakelde trafo-wikkelingen een positieve voedingsspanning van ongeveer 27 volt af en een even grote negatieve spanning.

weer tussen een maximale positieve waarde en een even grote negatieve waarde.

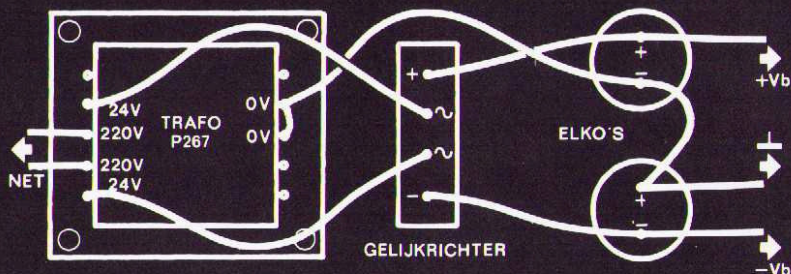
Door het op de beschreven manier verbinden van de twee sekundaire wikkelingen zal, als de spanning op de bovenste trafo-aansluiting van figuur 4 positief is, de spanning op de onderste aansluiting van de totale wikkeling negatief zijn.

Door middel van een bruggelijkrichter kan men uit het totale wisselspanningssignaal twee gelijkgerichte spanningen afleiden: een positieve en een negatieve. Stel dat op een bepaald moment de bovenste aansluiting van de sekundaire wikkeling positief is. De diode









Figuur 5. Voor de voeding van de eindversterker(s) is geen print ontworpen. De onderdelen moeten dus op het chassis bevestigd worden, waarbij deze bedradings-tekening als leidraad voor het verbinden van de componenten kan dienen.

## VOEDING EINDVERSTERKER(S)

### ONDERDELENLIJST

- 1 x trafo P 267 Amroh
- 1 x bruggelijkricher  
B 80 C 5000/3300
- 2 x elko's 4700 uF, 40 V
- 4 x M 4 x 10 schroeven
- 4 x M 4 moertjes
- 1 x montagesteuntje
- 1 x M 3 x 10 schroef
- 1 x M 3 moertje

D1 zal dan geleiden, waardoor elko C1 opgeladen wordt. Op hetzelfde moment is echter de onderste aansluiting van de sekundaire wikkeling negatief. Diode D4 geleidt dus ook, waardoor elko C2 negatief opgeladen wordt.

Als de spanningen op de trafo-aansluitingen van polariteit wisselen (bovenste -, onderste +), dan zullen de diodes D2 en D3 geleiden, waardoor de twee elko's ook dan opgeladen worden.

Besluit: over de twee condensatoren ontstaan gelijkspanningen, even groot maar met tegengestelde polariteit.

Deze spanningen zijn zonder meer in staat tot het voeden van de eindversterker(s).

Een belangrijke opmerking: in tegenstelling tot de vorige voeding hebben wij hier een specifiek trafo-tipe genoemd: P 267 van Amroh.

Het is aan te raden gebruik te maken van deze trafo. De hibride uit de eindversterker is namelijk erg gevoelig voor te hoge voedingsspanningen.

Deze trafo levert bij nullast (dus als de voeding niet belast wordt) spanningen die lager zijn dan de maximale voedingsspanningen van de hibride.

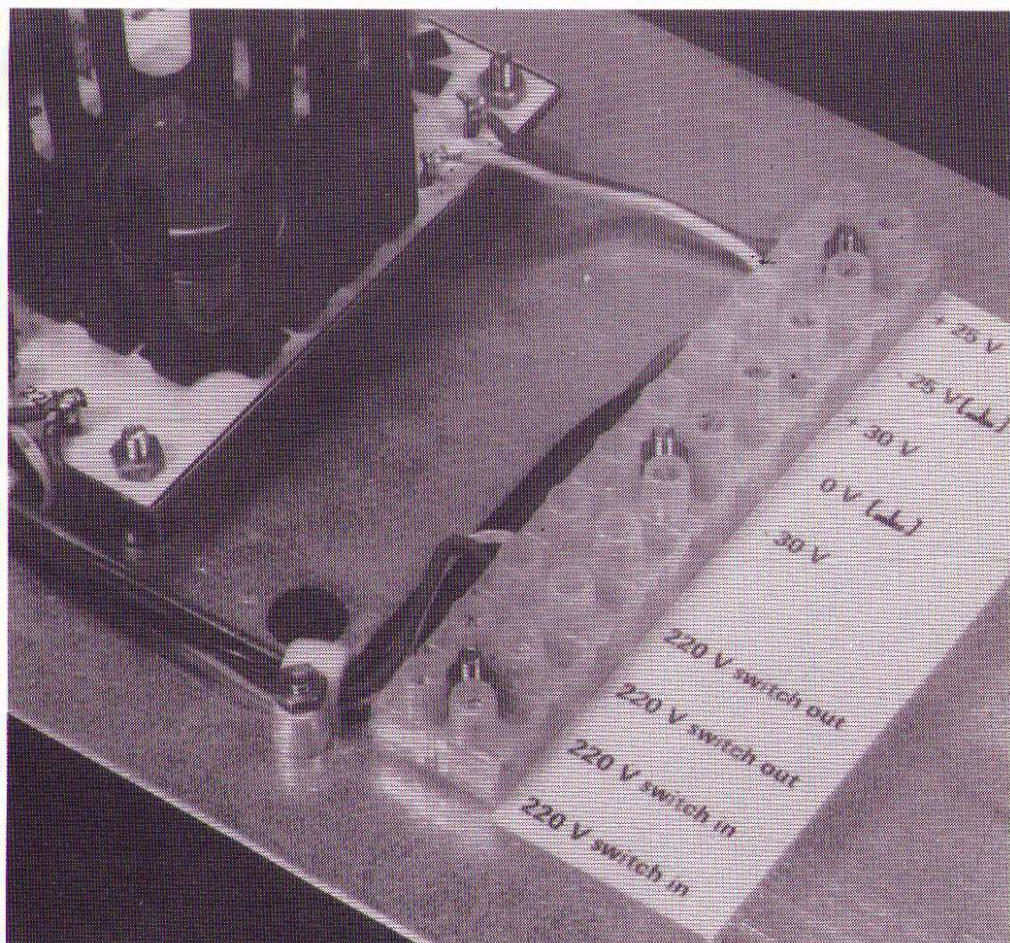
Als de voeding belast wordt, dus als de versterker geluidsignalen moet versterken, zakt deze spanning uiteraard enige volt.

Wij kunnen niet garanderen dat een andere 2 x 24 volt trafo een nullast voedingsspanning opwekt die niet groter is dan de maximale waarde van de voedingspanningen van de hibride.

## DE BOUW VAN DE VOEDING

Het zal duidelijk zijn dat het eenvoudige schema van figuur 4 niet op een print thuis hoort.





Vandaar dat figuur 5 de bedrading tussen de verschillende onderdelen van de voeding schetst.

De twee met „0” betitelde aansluitingen van de trafo worden doorverbonden. De twee „24 V” aansluitingen gaan naar de wisselspanningsaansluitingen van de brugcel. De negatieve pool van de ene elko wordt doorverbonden met de positieve pool van de tweede. Dat punt is tevens het massapunt van de voeding en is dan ook verbonden met de „0”-en van de trafo-wikkelingen.

De positieve aansluiting van de brug gaat naar de vrijblijvende positieve aansluiting van de elko's, de negatieve bruguitgang gaat naar de gelijknamige plaat van de overblijvende elko.

Die twee aansluitingen zijn de uitgangsspanningen van de voeding.

Het geheel kan op de achterwand van de modulen-kast bevestigd worden.

De brug kan op een montage-steuntje gesoldeerd worden. Als men voor de elko's types kiest die zijn voorzien van een grote (geïsoleerde) schroef, dan kan men ook die onderdelen op het chassis schroeven, zodat een overzichtelijk geheel ontstaat.



# praktijk

# U-moedulen

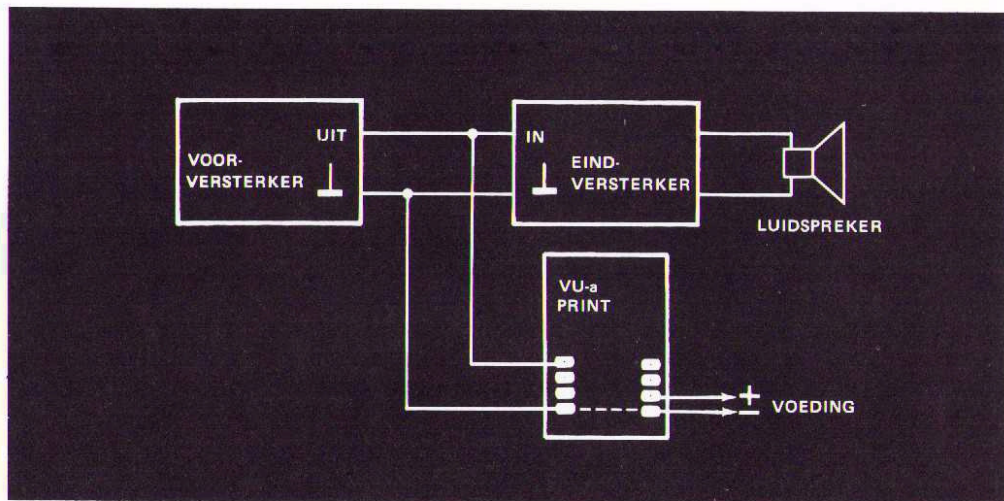
Aan de hand van de vorige 7 hoofdstukken van dit boek heeft U, waarschijnlijk en hopelijk zonder al te veel problemen alle beschreven modules, of slechts enige, nagebouwd.

Dan is nu de vraag aan de orde: wat doen we met die mooie schakelingetjes? Hoe kan ik bijvoorbeeld de LED VU-meter aansluiten op mijn rekorder? Kan ik het ruisfilter gebruiken voor het onderdrukken van de ruis van mijn oude, kostbare platen? Kunnen de modules gebruikt worden in combinatie met een fabrieksversterker en zo ja, waar moet ik de ekstra schakelingen aansluiten?

Een heleboel vragen, kortom. Vragen die bovendien zo belangrijk zijn dat we het de moeite waard vonden er een extra hoofdstuk aan te wijden. Wat heeft men immers aan zes prachtig en uitvoerig beschreven nabouwschakelingen, als men niet weet hoe men de apparaatjes in de praktijk moet gebruiken?

Laat ons een ding duidelijk stellen: niemand is verplicht alle in dit boek beschreven schakelingen na te bouwen. Alle schakelingen zijn zo ontworpen (op de lesley na) dat ze zonder meer als afzonderlijke eenheid bruikbaar zijn. Sterker nog. De in dit boek beschreven modules vormen geen afgerond systeem. Voor geluidsheergave onmisbare ketens, zoals toonregeling, volume- en balans-instelling en ingangsversterkers ontbreken in dit eerste boek. Op dit moment is men dus wel verplicht de beschreven moduulschakelingen te combineren met een bestaand versterker-systeem.





Figuur 1. De juiste aansluiting van de LED-VU-meter tussen een voor- en eindversterker. De tekening is uiteraard slechts voor een kanaal getekend, daar het tweede kanaal volledig identiek is. De eindversterker en de VU-meter worden dus parallel geschakeld aan de uitgang van de voorversterker.

## HET AANSLUITEN VAN DE LED-VU-METER OP EEN STEREOVERSTERKER

Deze schakeling is de enige uit het rijtje, die in feite niets aan het ingangssignaal toevoegt. Vandaar dat de print alleen maar een ingang heeft, en geen uitgang.

De VU-meter moet dus niet in serie met een reeks schakelingen worden opgenomen, maar parallel aan de uitgang, waarvan men het nivo wil meten.

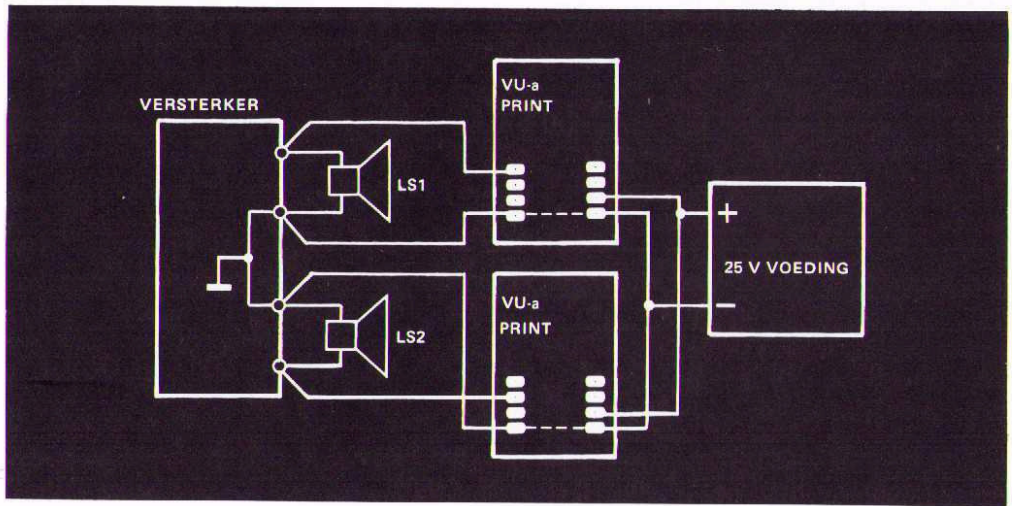
In figuur 1 is dat getekend.

Hier wordt de VU-meter opgenomen tussen een voorversterker en een eindversterker. De ingang van de LED-VU-meter wordt gewoon parallel geschakeld aan de uitgang van de voorversterker.

Hierbij moet men er wel op letten, dat de massa van de voorversterker verbonden wordt met de massa van de VU-meter.

De meeste nabouwers zullen de LED-VU-meter willen aansluiten op de luidsprekeruitgang(en) van hun versterker(s). Hiertegen is niets in te brengen, alleen wordt daardoor in feite een gedeelte van de schakeling van de VU-meter overbodig. Aan de uitgang van een versterker staat meestal een spanning die groot genoeg is om de LED's uit de VU-meter rechtstreeks te sturen, dus zonder voorversterkers. In principe zou men dus in dit geval de schakeling van de VU-meter kunnen vereenvoudigen. Deze vereenvoudiging vereist echter een forse ingreep in de ingewanden van de print; bovendien moet de gevoeligheidsinstelling dan op een andere manier geschakeld worden. De ekstra





onderdelen van de voorversterker, die de VU-meter zijn universeel karakter geven, wegen niet op tegen de problemen bij de ombouw van de print. Over dit aspect van deze toepassing dus geen woord.

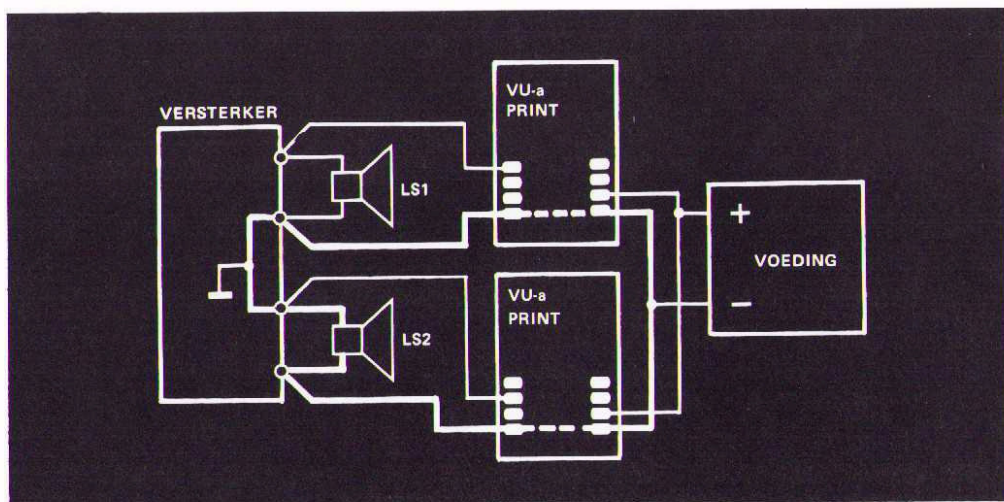
Waar wel iets over gezegd moet worden is over het gevaar dat ontstaat als men twee VU-a-prints in de twee luidsprekeruitgangen van een versterker opneemt.

In de meeste eindversterkers, zeker de moderne transistortypes, ligt de luidspreker met een poot aan de massa van de versterkerschakeling. Als men dan twee VU-meter-prints aansluit aan beide luidsprekeruitgangen, moet men er voor zorgen, dat bij ieder kanaal de massa-aansluiting van de luidspreker verbonden wordt met de massa van de VU-print. Maakt men hierbij een fout, dan wordt een van de beide kanalen van de versterker kortgesloten, wat nare gevolgen kan hebben voor de reeds door de inflatie zo aangetaste beurs.

In figuur 2 is het probleem geschetst. De massa-aansluitingen van de twee VU-meter-prints zijn onderling doorverbonden, via de negatieve aansluiting van de voeding. De massa-aansluitingen van de beide luidsprekers zijn natuurlijk onderling ook verbonden, via de voeding van de versterker. Als men nu de zaak aansluit zoals getekend in figuur 2, dan is er niets aan de hand. Alle massa's zijn met elkaar doorverbonden, en de signaalvoerende uitgangen van de versterkers gaan naar de ingangen van de VU-meters.

In figuur 3 is hetzelfde schema getekend, maar nu is

Figuur 2. Als men twee LED-VU-meters aansluit op de luidsprekeruitgangen van een stereo-versterker, kan men dit volgens bijgaand schema doen. De luidsprekeruitgangen, die intern in de versterker met elkaar en met de massa van het apparaat verbonden zijn, moeten aan de massa-aansluitingen van de VU-meters komen.



Figuur 3. Wat er gebeurt als men een van de luidsprekeruitgangen op de verkeerde manier met de LED-VU-meter verbindt, toont deze figuur. De desbetreffende uitgang wordt dan kortgesloten (zie vette lijn) via de massa-verbindingen van de VU-meters met hun voeding.

de ingang van de onderste VU-meter verkeerd verbonden met de uitgang van de onderste luidspreker. Met een vette lijn is getekend wat het resultaat is. De onderste luidsprekeruitgang wordt kortgesloten, via de verschillende massaleidingen!

Als de versterker niet is voorzien van ingebouwde kortsluitbeveiliging, heeft dit tot gevolg dat de eindtransistoren van het onderste kanaal de geest geven. Vooraleer de VU-meters met de luidsprekeruitgangen verbonden worden, moet men dus met een op weerstandsmeting geschakelde universeelmeter doormeten welke luidsprekeruitgangen met de massa verbonden zijn.

### HET AFREGELLEN VAN DE LED-VU-METER

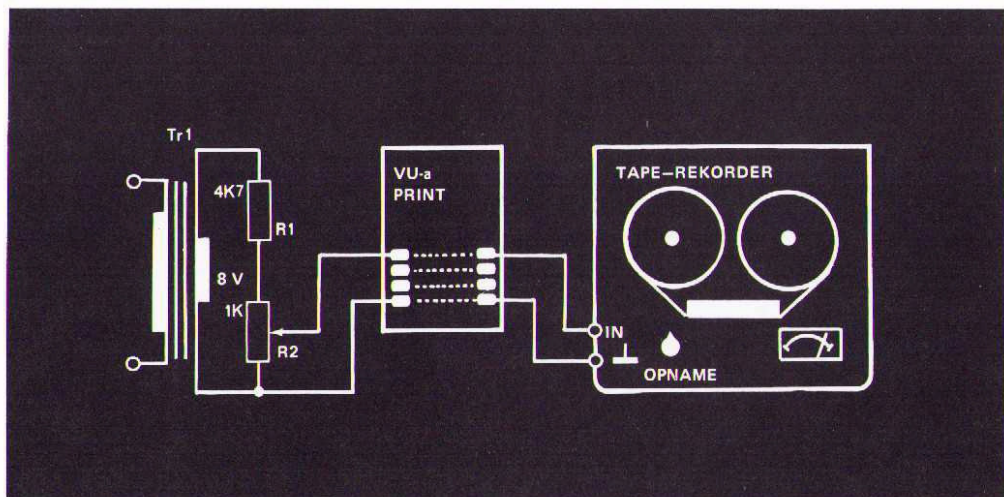
Een deci-bel is geen absolute grootte, zoals bijvoorbeeld de meter. Als men van een bepaald voorwerp zegt dat het 1 meter lang is, dan weet iedereen wat bedoeld wordt. Dat is niet het geval, als men zegt dat een bepaald signaal een nivo van 10 deci-bel heeft.

De deci-bel is namelijk een relatieve grootte, dat wil zeggen dat de deci-bel-grootte steeds een verhouding geeft van twee verschillende spanningen.

Nu bestaat er wel een internationale afspraak over de basisspanning, waarmee men iedere in deci-bel uitgedrukte spanningswaarde vergelijkt, maar in de praktijk wordt daar niet steeds rekening mee gehouden.

Nu zal men, als men de LED-VU-meter bijvoorbeeld gebruikt bij een rekorder, de schaal van de meter toch





op een of andere manier moetenijken. De VU-meter moet dan immers, net zoals de kleine in de rekorder ingebouwde metertjes, een indicatie geven over de mate van uitsturing van de band. De schakeling moet dan zo afgeregeld worden, dat de rode LED's gaan branden als de band te diep gemoduleerd wordt.

Het toe te passen schema is getekend in figuur 4.

De LED-VU-meter wordt parallel geschakeld aan de ingang van de rekorder. Het signaal, dat men wil opnemen, stuurt dus zowel de rekorder als de VU-meter. Natuurlijk moeten deze verbindingen met afgeschermd draad uitgevoerd worden. Bovendien zal het duidelijk zijn, dat men zeer kleine signalen, zoals bijvoorbeeld het uitgangssignaal van een mikrofoon of van een magnetodynamische platendraaier, eerst moet voorversterken. De signalen van deze geluidsbronnen zijn immers te klein om rechtstreeks de LED-VU-meter te sturen.

Op een of andere manier moeten we de schaal van de LED-VU-meter overeen laten komen met de schaal van de in de rekorder ingebouwde kleine VU-meter.

Nu is er een probleem. De ingebouwde VU-meter is geschakeld na de in de rekorder aanwezige opnamesterkte-regeling, de LED-schakeling staat voor deze potmeter.

Het veranderen van de opnamesterkte heeft dus wel invloed op de indicatie van de in de rekorder ingebouwde meter, maar niet op de indicatie van de LED-VU-meter.

Figuur 4. Hoe men een LED-VU-meter moet aansluiten aan een rekorder, toont deze figuur. Ook hier staat de VU-meter dus parallel aan het geluidssignaal. Wil de aflezing van de LED-meter kloppen met die van de in de rekorder ingebouwde VU-meter, dan moet men in de eerste plaats de schakeling ijken (zie tekst), maar in de tweede plaats moet de opnamesterkte-regeling van de rekorder altijd op dezelfde stand staan, wat erg onpraktisch is.

Wil men de twee meters op elkaar afregelen, dan zal het duidelijk zijn, dat men de opnamesterkteregelaars een bepaalde, geijkte positie moet geven. Alleen bij die bepaalde stand van de knop zal de indicatie van de twee meters overeenstemmen.

De afregeling gebeurt als volgt.

Aan de ingang van zowel de LED-VU-meter als de rekorder wordt de gesimuleerde toongenerator aangesloten, die we ook al gebruikt hebben bij de afregeling van de 50 watt eindversterker (zie bij het betreffende hoofdstuk).

De opnamesterkte wordt in een bepaalde, door de praktijk als normaal ervaren stand gezet. Deze stand werd aangeduid door middel van een streepje op het chassis van de rekorder.

Nu gaan we het signaal aan de ingang zo'n waarde geven, dat de in de rekorder ingebouwde VU-meter precies de waarde 0 deci-bel aanduidt.

De trimmer R19 van de LED-VU-meter wordt nu zo verdraaid, dat ook deze schakeling de waarde 0 deci-bel aanduidt, met andere woorden, dat de volledige lichtkolom tot de waarde 0 deci-bel oplicht.

Nu zijn de twee meters op elkaar afgeregeld en kan verder opgenomen worden, met die beperking, dat men de instelling van de opnamesterkteregelaar nooit meer mag verdraaien.

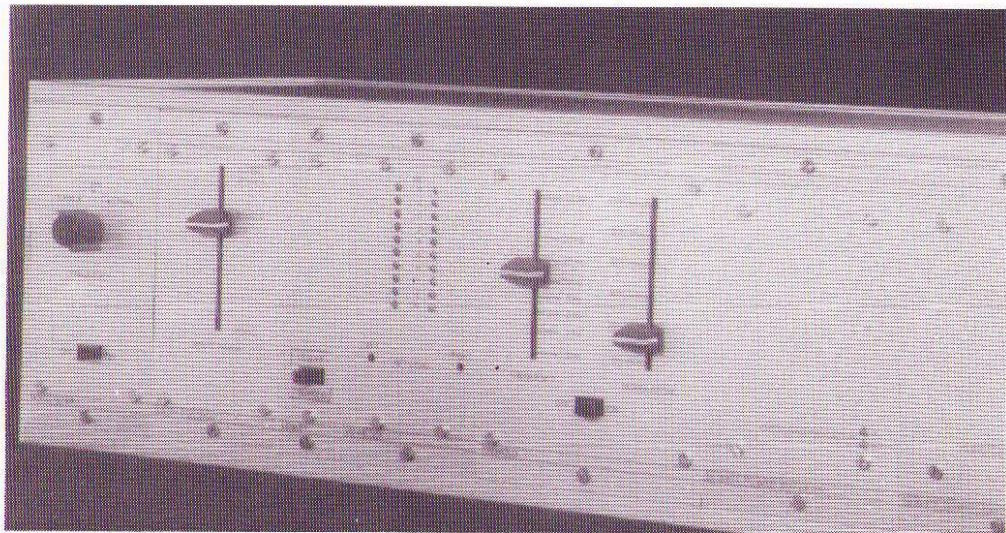
Bij het opnemen van radio-programma's of van platen zal dit niet als bezwaar gevoeld worden. Deze bronnen geven immers een vrijwel konstant volume af. Als men echter slecht gemoduleerde banden opneemt, is dit zeer bezwaarlijk.

Vandaar dat de beste oplossing is, voor de LED-VU-meter nog eens een extra potmeter op te nemen, waarmee men de opnamesterkte kan regelen, zonder de ijking van de LED-VU-meter te beïnvloeden.

Het zal duidelijk zijn, dat alle problemen vermeden worden, als men de beschikking heeft over een rekorder die is uitgerust met drie koppen. Men heeft dan de mogelijkheid de LED-VU-meter achter de meeluisterkop te schakelen, zodat de schakeling het nivo aanduidt dat op de band wordt opgenomen. Men kan dan de modulatie diepte blijven regelen met de op de rekorder aanwezige potmeter, zonder allerlei ingewikkelde extra externe potmeters.

Een andere fraaie oplossing is toe te passen bij een rekorder die beschikt over een koptelefoonuitgang





waarvan het nivo regelbaar is (bijvoorbeeld de recente Philips/Aristona-modellen). Hierbij wordt de volumeknop van de koptelefoonuitgang geblokkeerd op de stand waarbij de op die uitgang aangesloten LED-VU-meter dezelfde waarde aangeeft als de meters in de rekorder zelf. Ook hier blijft zo de mogelijkheid volledig behouden om de modulatie van de band te regelen met behulp van de opname-potmeter.

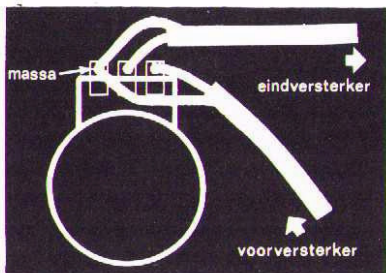
### DE JUISTE PLAATS VAN DE MODUULSCHAKELINGEN IN EEN SISTEEM

Uw geluidssysteem zal waarschijnlijk zijn opgebouwd uit een platendraaier met magnetodynamisch element, een tuner, een rekorder en een versterker.

Stel, u wil het ruisfilter in deze keten opnemen. Kan deze schakeling op iedere willekeurige plaats tussen de bestaande apparatuur opgenomen worden? Of zijn er toch bepaalde algemene regels, waaraan men zich te houden heeft?

Die zijn er, helaas. Zo is het niet mogelijk een of meerdere modules rechtstreeks te schakelen achter een apparaat dat een zeer lage uitgangsspanning afgeeft, zoals een platendraaier met MD-element of een mikrofoon. De kans is dan erg groot, dat de geluidskwaliteit flink achteruit gaat. Niet door vervorming, maar door brom en ruis.

Wat is er aan de hand? Iedere elektronische schakeling wekt een bepaalde hoeveelheid ongewenste stoorsig-



Figuur 5. Als men in zijn versterker een scheiding wil maken tussen de voor- en de eindversterker, moet men in de eerste plaats de volumepotmeter opsporen. Is deze bedraad als getekend (voor een kanaal) in deze figuur, dan zal de scheiding zonder al te veel problemen doorgevoerd kunnen worden. Is de potmeter op een andere manier bedraad, blijf er dan van af!

nalen op. Het overgrote deel van dat signaal is opgebouwd uit brom en ruis. De brom ontstaat, doordat de rimpel die op de voedingsspanning aanwezig is, gedeeltelijk doordringt in de schakeling en dus ook terecht komt op de uitgang. De ruis is een basiseigenschap van ieder elektronisch onderdeel en is steeds aanwezig.

Nu gaat het hier niet over erg grote spanningen, in het slechtste geval zijn die stoorsignalen in de grootteorde van enige milli-volt.

Als een moduulschakeling doorlopen wordt door een signaal dat bijvoorbeeld 300 milli-volt groot is, dan zullen die enige milli-volt brom en ruis niet hoorbaar zijn; de signaal-ruis-verhouding is dan erg groot.

Een magnetodynamische platendraaier en een microfoon hebben echter een uitgangsspanning die in de grootteorde ligt van enige milli-volt. Als we die spanning aan de ingang van bijvoorbeeld het ruisfilter aanbieden, dat bestaat het gevaar, dat de door de schakeling opgewekte brom en ruis groter zijn dan het signaal van platendraaier of microfoon. Van een goede weergave blijft dan uiteraard niets meer over.

Dit probleem ontstaat niet door eventuele slechte eigenschappen van de moduulschakelingen! Deze zijn echter zo ontworpen, dat de spanningsversterking tussen in- en uitgang precies gelijk is aan 1, zodat ze het volume van een geluidssysteem niet beïnvloeden. Het nadeel is wel dat, als men zeer kleine signalen aan de ingang aanlegt, ook aan de uitgang kleine signalen zullen verschijnen, die dan erg verontreinigd kunnen zijn met brom en ruis.

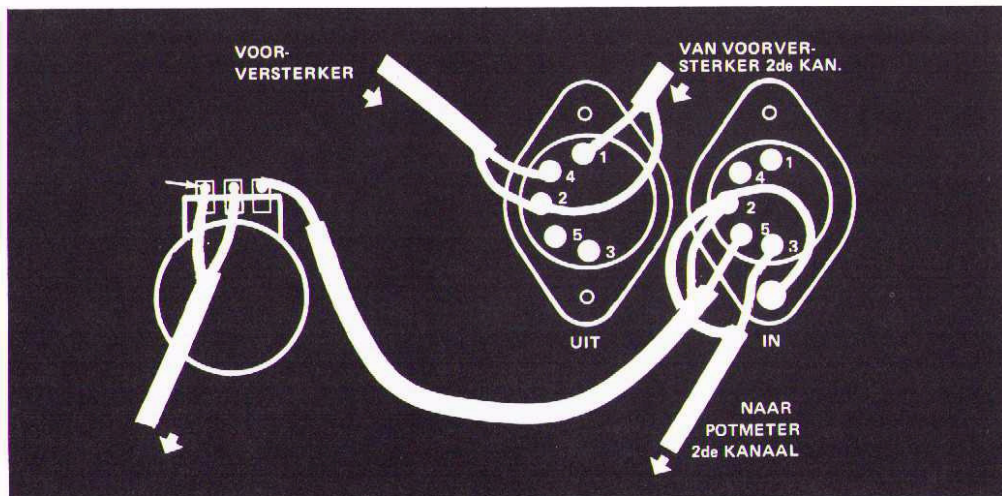
Vandaar dat de enige juiste plaats voor het aansluiten van moduulschakelingen zit tussen de voor- en eindversterkers. De voorversterker zorgt immers voor een spanningsversterking van de kleine ingangssignalen. Aan de modulen worden dan spanningen aangelegd die verschillende honderden milli-volt groot zijn, en dan doen er zich geen problemen voor.

Nu is dat natuurlijk gemakkelijker geschreven dan gedaan.

Als men een eenvoudige versterker heeft, zonder allerlei snuffjes, en men wil die snuffjes invoeren door middel van enige modulen, dan heeft men geen afzonderlijke voor- en eindversterker.

Het enige dat men dan moet doen, is de voor- en eindversterker intern scheiden. Vroeger had men verster-





kers, waar de fabrikant dat voor ons had gedaan. Op de achterwand van de kast zaten dan twee pluggen, die door middel van een kabeltje doorverbonden waren. De ene plug was de uitgang van de voorversterker, de andere de ingang van de eindversterker. Wilde men enige ekstra's tussenschakelen, dan moest men dat kabeltje verwijderen en de ekstra schakeling tussen beide pluggen opnemen.

Nu de service van de handelsversterkers niet meer zo ver gaat (behalve dan soms bij een heel erg duur exemplaar) moet men zoiets zelf konstrueren.

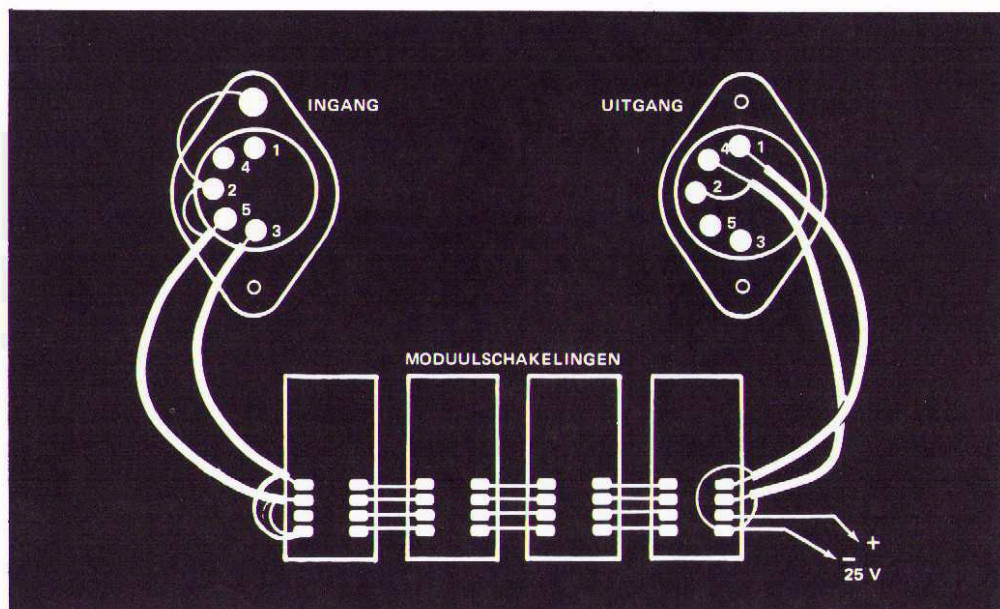
De plaats die iedereen kan terugvinden, en waar de scheiding tussen voor- en eindversterker met de minste problemen doorgevoerd kan worden, is de volumepotmeter van de versterker. Meestal staat die namelijk tussen voor- en eindversterker geschakeld.

In figuur 5 is de volumeregelaar voor een kanaal van een normale versterker getekend. Aan dit onderdeel zal men twee afgeschermd draadjes kunnen opmerken. De afschermingen gaan naar een van de buitenste aansluitingen. Een binnenste geleider gaat naar de loper van de potmeter, de andere naar de tweede buitenste aansluiting.

De draad, die verbonden is met de loper, gaat naar de eindversterker; de draad, die verbonden is met het uiteinde van de potmeter, komt van de voorversterker.

In figuur 6 is getekend, hoe men door middel van twee vijfpolige DIN-pluggen de scheiding tussen eind- en voorversterker kan realiseren.

Figuur 6. Zo ziet de toestand er na de scheiding uit. De afgeschermd draaden van de voorversterker zijn nu verbonden met de aansluitingen 1 en 4 van een DIN-plug. De afschermingen liggen aan pin 2. De volumepotmeters van de versterkers worden van signaal voorzien via twee afgeschermd draadjes, die verbonden zijn met de pinnen 3 en 5 van de tweede plug. Merk op, dat de afscherming van deze draden alleen bij de plug aangesloten wordt en daar ook met het chassis verbonden wordt. Wil men de versterker op de normale manier laten spelen, dan moet men beide DIN-pluggen door middel van een klein kabeltje met elkaar verbinden.



Figuur 7. Een of meerdere modulen (uitgezonderd de eindversterkers) worden op deze manier opgenomen tussen twee DIN-pluggen. Natuurlijk moeten alle verbindingen met afgeschermd draad uitgevoerd worden. De afscherming wordt alleen bij de ingang met het chassis van de schakelingen verbonden. De voeding „hangt in de lucht”, wat wil zeggen dat de „min” van deze schakeling niet verbonden is met het chassis.

In deze figuur is de bedrading voor een kanaal opgenomen; voor het tweede kanaal gaat men uiteraard op dezelfde manier te werk.

Tussen de beide DIN-pluggen kunnen dan de modulen opgenomen worden.

Als deze modulen ook voorzien worden van DIN-pluggen, zoals in de volgende paragraaf beschreven wordt, dan kunnen de verbindingen tussen de vier chassisdelen door middel van in de handel verkrijgbare afgeschermd kabels met DIN-stekkers gebeuren. Er bestaan nogal wat misverstanden over het aansluiten van DIN-stekkers en -stekkerbussen. In de tekeningen bij dit hoofdstuk hebben we steeds alle ingangssignalen aangesloten op de punten 5 en 3 van de chassisdelen en alle uitgangen op de aansluitpunten 4 en 1.

### HET AANSLUITEN VAN DE MODULEN OP EEN VERSTERKER

In de vorige paragraaf is uitgelegd, hoe we een standaard versterker kunnen voorzien van een scheiding tussen voor- en eindversterker, waartussen een of meerdere modulen opgenomen kunnen worden.

Hoe dit kan, wordt in deze paragraaf uit de doeken gedaan.



In figuur 7 ziet men de bedrading tussen het ene of de meerdere modules, en de in- en uitgang-DIN-plug. Ook deze verbindingen moeten met afgeschermd draad gebeuren.

Merk op, dat de afschermingen van de vier afgeschermd draadjes op de modules-prints verbonden zijn met de „min“-aansluiting van de voeding. Aan de uitgangsbuss is slechts een afscherming verbonden met de massa-lip (nummer 2) van de DIN-bus.

Aan de ingang ziet men hetzelfde. Bovendien is de ingangsbuss de enige plaats, waar er contact ontstaat tussen de (metalen) behuizing van de modules en de massa van de schakelingen. Dat doet men door een kort draadje te solderen tussen aansluitlip 2 van de ingangsbuss en een soldeerlipje, bevestigd onder een van de schroeven.

Ook bij dit schema moet de voeding „in de lucht hangen“. De voeding wordt dus door middel van twee draden verbonden met de aansluitingen op de module-prints. Iedere verbinding tussen massa van de voeding en het chassis is uit den boze!

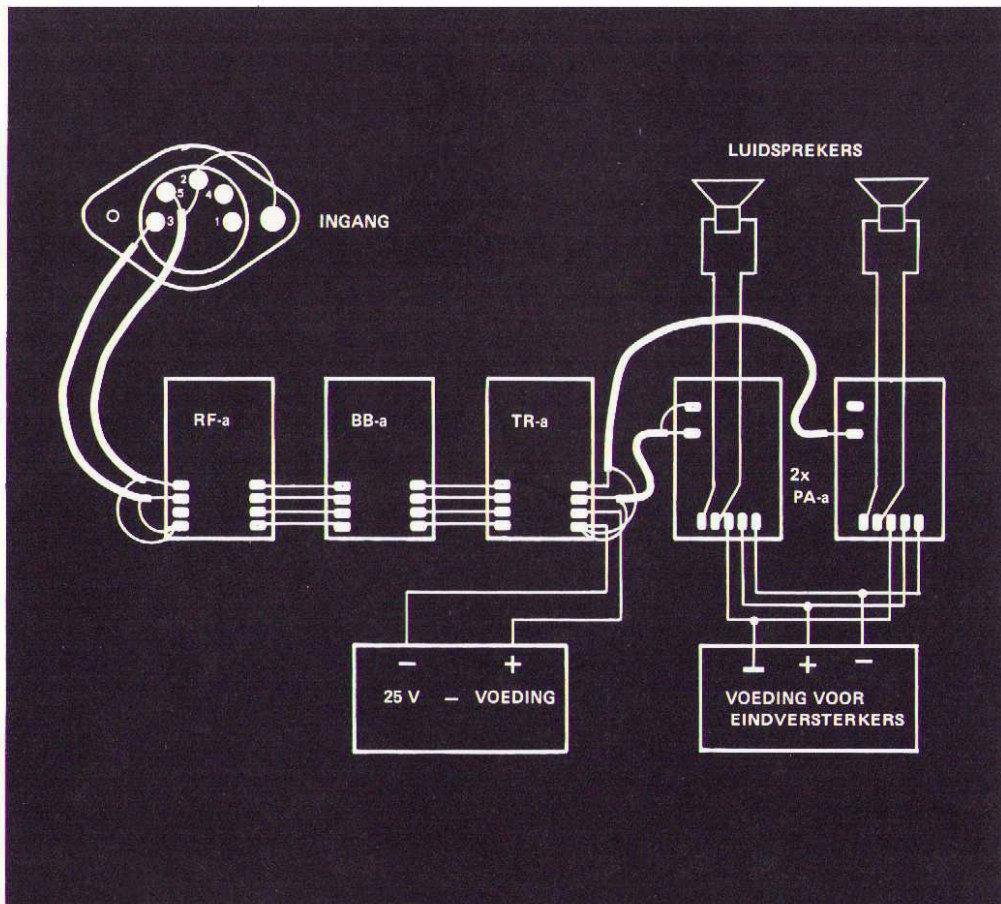
## HET KOMPLETE MODUUL-SISTEEM

De print lay-out van de modules is, vaak met erg veel gesakkert en gevloekt, steeds zo uitgevoerd dat de verschillende in- en uitgangen bij de modules op dezelfde plaats zitten. Het doorverbinden van de modules kan dus geen enkel probleem met zich brengen. Het volstaat de vier uitgangen van het eerste module te verbinden met de vier ingangen van het tweede module, en zo verder.

Toch kunnen er onduidelijkheden ontstaan, als men ook de eindversterkers in het systeem opneemt.

Het is duidelijk, dat bij deze schakelingen het doorverbindingsprincipe niet toepasbaar was: in de eerste plaats hebben deze schakelingen een andere voeding en in de tweede plaats vormen zij de afsluiting van het systeem.

Vandaar dat in figuur 8 een overzicht is gegeven van de doorverbindingen van een uitgebreid modulesysteem. In het geheel zijn eveneens twee voedingen opgenomen: een 25 volt voeding voor de voorversterker en signaalbewerkingsmodules, en de symmetrische voeding voor de beide eindversterkers. Het schema is getekend voor vier modules, maar het zal duidelijk zijn dat zoveel modules als men nodig heeft achter



Figuur 8. Een overzichtstekening van de onderlinge bedrading tussen enige voorversterkermodulen, twee 50 watt eindversterkers en de twee voedingen. De bedrading tussen de signaalbewerkingsmodulen (de voorversterkers, dus) is zeer eenvoudig dank zij het uitgekende printontwerp. Het enige, waar men enige zorg aan moet besteden is de verbinding tussen het laatste signaalbewerkingsmoduul en de beide eindversterkers. Let er op, dat ook hier de voedingen „in de lucht hangen“, dus geen verbindingen tussen chassis en voedingen!

elkaar geschakeld kunnen worden.

Als men de modulen netjes naast elkaar monteert, dan kunnen de onderlinge verbindingen bestaan uit ongeïsoleerde draadbruggetjes van 1 centimeter lengte.

Alleen bij de LED-VU-meter is de bedrading iets ingewikkelder. De aansluitlipjes van deze print zitten immers tegen het frontplaatje, terwijl deze bij de andere prints op een afstand van 22 millimeter van het frontje staan. Men kan dus eerst vier draadjes van enige centimeters lengte aan de aansluitlipjes van de VU-meter solderen, dan alle prints in de kast inbouwen en eerst dan deze draadjes verbinden met de modulen die opgenomen zijn naast de VU-meter-prints.

Bij de verschillende bouwbeschrijvingen is steeds ge-



steld, dat men de soldeerlipjes op de koperzijde van de prints moest aanbrengen. Eerst nu wordt duidelijk waarom dat moet: men kan de naast elkaar gemonteerde modules probleemloos bedraden!

De verbindingen tussen de eindversterkers en het laatste effekt-moduul moeten met afgeschermd draadjes uitgevoerd worden. De afscherming mag slechts bij een kanaal verbonden worden met de eindversterker-print.

Wat ook zeer belangrijk is, is dat de twee voedingen volledig los moeten staan van de massa. De negatieve polen van de elko's mogen dus niet met massa verbonden worden, daar anders massa-lussen ontstaan, die brom kunnen veroorzaken.

De enige verbinding tussen de schakelingen en het chassis (de metalen montageplaat of kast) vindt plaats bij de ingangsplug.

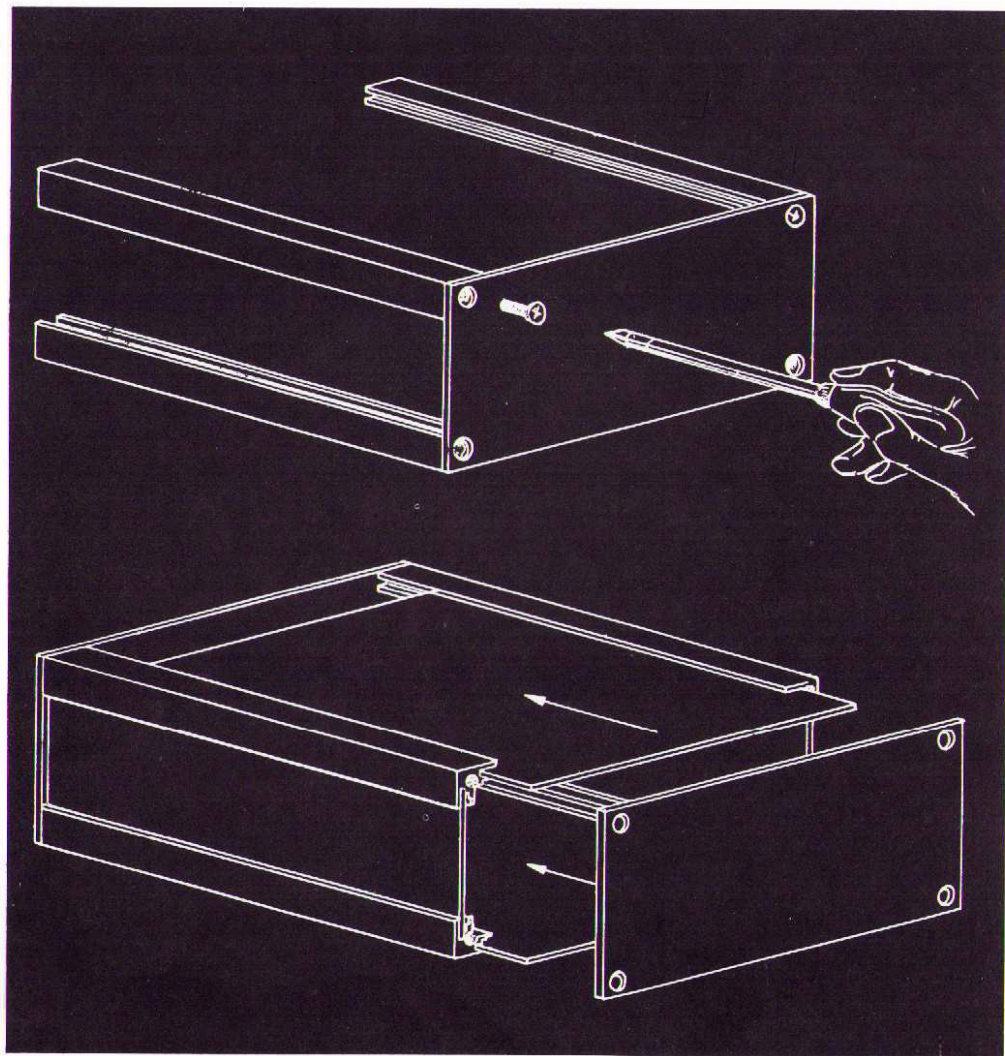
## DE BEHUIZING VOOR DE MODULEN

Natuurlijk zal iedere nabouwer de modules in een voor hem passende soort behuizing onderbrengen. Toch willen wij wijzen op een systeem, dat sinds enige tijd op de markt is en speciaal is ontwikkeld voor de montage van moduulschakelingen.

Het systeem, ontwikkeld door de Duitse firma GSA, bestaat uit een profiel, uitgevoerd in gegoten aluminium. Het principe van profielbehuizingen is bekend. In lange, aluminium hoekprofielen zijn gleuven aangebracht, waarin aluminium plaatjes geschoven kunnen worden. De profielen vormen de hoeken van de kast, de aluminium plaatjes de zijwanden en boven- en onderkant van de kast. Dit systeem heeft het grote voordeel dat het zeer universeel is. Wil men een kast van een bepaalde grootte maken, dan hoeft men slechts vier stukken van de juiste lengte van de profielstaaf af te zagen en daarin zes stukjes aluminium plaat te monteren.

In figuur 9 is de stap-na-stap opbouw van een profielkast getekend.

Nu zijn er sinds kort ook profielen op de markt, waar bij een van de zijden anders is uitgevoerd. In plaats van de gleuven aan de binnenzijde van het profiel, waarin men de platen aluminium kan schuiven, zijn deze profielen voorzien van een uitsparing waarin vierkante moeren heen en weer kunnen glijden. Met deze profielen kan men een prachtige kast voor de



Figuur 9. Het principe van een uit aluminium profielen en platen opgebouwde kast. Dit soort kasten is zeer eenvoudig zelf in elkaar te knutselen, omdat men alleen een aantal gelijke stukken van een profielstaaf hoeft af te zagen en enige rechthoekige platen aluminium te snijden. Het bij normale kastenbouw vervellende omzetwerk vervalt hierbij.

laagfrequentie modules construeren.

Figuur 10 geeft een doorsnede-tekening van zo'n opbouw.

Het speciale profiel (in de taal van de fabrikant: Alu-Gleitmutterkanälen-Profil!) is rechtsboven getekend. Duidelijk ziet men aan de bovenzijde de drie groeven voor het inpassen van 1, 2 of 3 mm dikke platen. Het kanaaltje voor de glijmoeren zal men aan de rechterkant van het profiel opmerken; deze kant van het profiel vormt uiteraard de voorzijde van de kast.



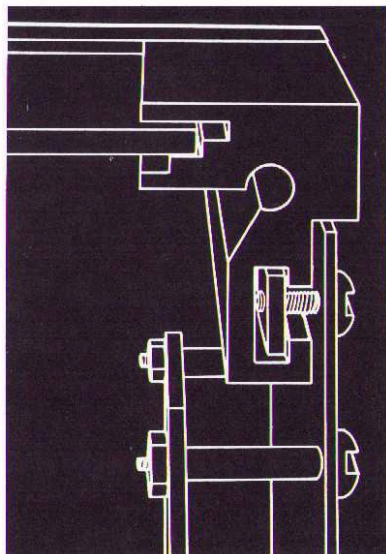
De frontplaatjes van de modules kunnen door middel van M3x5 schroeven bevestigd worden op de profielen. Het is wel even priegelen om de moertjes precies op de juiste plaats in de kanalen te krijgen!

Bij de opbouw van een dergelijke profielkast moet men op drie zaken letten.

In de eerste plaats moet de diepte van de kast minstens 20 centimeter bedragen. Deze afmeting wordt bepaald door de diepte van de modules en door het feit dat de voedingen tegen de achterwand van de kast worden gemonteerd.

In de tweede plaats moet de breedte van de kast (uiteraard) zijn aangepast aan het aantal modules dat men wil gebruiken. Het volstaat de breedte van de frontplaatjes bij elkaar op te tellen, bij dit bedrag enige millimeters speling toe te voegen en de eksakte breedte van de stukken profiel is bekend.

In de derde plaats is de hoogte van de kast zeer belangrijk. Het hele systeem staat of valt met het aanpassen van de afstand tussen de twee glij-kanalen aan de hart-tot-hart afstand van de twee bevestigingsgaatjes in de frontplaatjes van de modules. Wil men een en ander zonder sakkeren in elkaar schroeven, dan is het noodzakelijk dat de zijpanelen en de achterplaat van de te konstrueren kast precies 14,8 centimeter hoog zijn. Als men dan de profielen precies op de hoeken van de zijpanelen bevestigt, zal men konstateren dat de genoemde afstanden op elkaar zijn aangepast.



Figuur 10. Een doorsnede-tekening van een GSA-modulenkast. Het hoekprofiel is aan de ene zijde voorzien van gleuven, waarin aluminium platen geschoven kunnen worden. De andere zijde is uitgerust met een kanaal, waarin moertjes heen en weer glijden. De frontplaten van de modules worden tegen deze zijde bevestigd, door M3x5 schroeven in de moertjes van het glijkanaal te schroeven.









uitgave:  
coöperatieve vereniging van  
zelfbesturende ontwerpers,  
uitgevers en technici ua.  
postbus 4250  
6202 WC maastricht